





Р.А. Сворень

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЮНОГО РАДИОЛЮБИТЕЛЯ









Горячая линия–Телеком



Р.А. Сворень

ЭЛЕКТРОНИКА
Шаг за шагом

Практическая энциклопедия юного радиолюбителя

Издание 4-е,
переработанное и дополненное

Москва
Горячая линия-Телеком
2001

ББК 32.85
С 25

Сворень Р.А.

С25 Электроника шаг за шагом: Практическая энциклопедия юного радиолюбителя. – Изд. 4-е, дополн. и исправл. – М.: Горячая линия–Телеком, 2001. – 540 с.: ил. – (Массовая радиобиблиотека; 1248).

ISBN 5-93517-041-8.

В практическую энциклопедию радиолюбителя входят популярные рассказы об основах электротехники, электроники и радиотехники, о звукозаписи, телевидении, радиоприеме, электронной музыке, об автоматике и вычислительной технике. В книге много практических схем и описаний конструкций для самостоятельного изготовления. Большую помощь радиолюбителю в его практической работе окажет имеющийся в книге справочный материал. Оставив почти без изменений основную (учебную) часть книги, автор добавил к ней 128 коротких рассказов о современных приборах, методах и применениях электроники, а также разработал для книги 200 новых иллюстраций, объединив их в "Веселый конспект"

Для широкого круга радиолюбителей, может быть полезна учащимся школ и техникумов.

ББК 32.85

Справочное издание

Массовая радиобиблиотека. Выпуск 1248

Сворень Рудольф Анатольевич

ЭЛЕКТРОНИКА ШАГ ЗА ШАГОМ

Рисунки С. Величкина

Обложка В.Сетюка

ЛР № 071825 от 16 марта 1999г.

Подписано в печать 19.12.00 Формат 70x100/16 Бумага офсетная
Шрифт литер. Печать офсетная Уч.-изд. л. 42,5
Тираж 5 000 экз. (1-й завод — 3000 экз.) Изд. № 89

ISBN 5-93517-041-8



ГЛАВА 1

ПРЕДИСЛОВИЕ-ПУТЕВОДИТЕЛЬ

Т-1. Эта книга для радиолюбителей, для тех, кто сам конструирует приемники, усилители и другую электронную аппаратуру. Есть немало загадочных, необъяснимых явлений, немало тайн, до которых еще не успела добраться наука. В их числе и радиолюбительство. Как, например, объяснить такое: на магазинных полках полно прекрасных всеволновых приемников, а начинающий радиолюбитель, путаясь в проводах, обжигаясь о жало паяльника, собирает на куске фанеры свой первый шедевр — приемник, который в лучшем случае будет принимать две-три местные станции. Забыты друзья, на самом интересном месте заброшен детектив, мобилизованы последние финансовые ресурсы... И все это ради той радостной минуты, когда из громкоговорителя зашуршит едва слышное: «...е-е-е-если б знали вы-ы-ы, как мне дороги-и-и-и...»

Пройдут годы, появятся термоядерные электростанции и личные минивертолеты, космонавты высадятся на Марсе, будут раскрыты загадки человеческой памяти и секреты зарождения жизни. К тому времени, возможно, будет проведен и строгий научный анализ притягательных сил радиолюбительства... Пока же по этому поводу можно лишь высказывать предположения.

К радиолюбительскому конструированию наверняка влечет естественная потребность творить, создавать, строить. Она в самой человеческой природе, запрограммирована в нас, закреплена тысячелетиями. Так же как не может человек жить без воды и пищи, без воздуха, вот так же не может он без интересного дела. А радиолюбительство, конечно же, дело интересное, творческое. Наука на грани искусства.

Наверняка привлекает радиолюбительство и своей полезностью, тем, что позволяет легко приобщиться к самой современной технике.

Можете вы построить дома настоящий синхрофазотрон? А космический корабль? Атомный реактор? Самолет? Не можете... А вот настоящий магнитофон или настоящий радиоприемник можно изготовить прямо на краешке кухонного стола. И настоящую вычисляющую машину тоже, хотя, конечно, очень простую.

К радиолюбительству тянется не только тот, кто хочет связать свое будущее с электроникой. Сегодня электронная техника применяется повсюду, с ней вполне может встретиться летчик и врач, биохимик и экономист, металлург и музыкант. И каждый, кто занимается практической электроникой, как говорится, в порядке любительства, прекрасно понимает, что это приятное дело окажется полезным для человека любой профессии.

И вот еще что: радиолюбительство не только учит, но в сильной мере и воспитывает. Оно, например, делает человека более сообразительным, находчивым, изобретательным. Более собранным, четким, аккуратным — не-

сколько раз пострадаешь из-за собственной небрежности, и, смотришь, появляется привычка тщательно проверять сделанное, работать быстро, но не спеша. Потеряешь час на поиски какой-нибудь детали, и совсем уже по-иному звучат слова: «порядок на рабочем столе» или «организация рабочего места».

Собирая электронные схемы, налаживая их, выискивая какую-нибудь неисправность, вы учитесь логически мыслить, рассуждать, учитесь использовать имеющиеся знания, добывать новые. Учитесь учиться.

Вспоминается, как известный советский радиофизик академик Александр Львович Минц, принимая специалистов на работу, всегда отдавал предпочтение радиолюбителям. И не только за конкретные знания, но главным образом за умение мыслить, работать творчески, изобретать.

Т-2
Т-2. В книге имеются описания схем и конструкций для самостоятельного изготовления, они обозначены буквой «К». В этой книге имеется около ста практических электронных схем, рассчитанных на повторение в любительских условиях, предварительно отработанных и проверенных. В некоторых случаях это схемы законченных устройств — приемников, усилителей, электромузыкальных инструментов, измерительных приборов, электронных автоматов. Много имеется схем отдельных узлов и блоков, из которых можно собрать совсем уже огромное множество простых и сложных схем подобно тому, как дети из кубиков собирают самые разнообразные «здания». Кстати, и в законченных схемах также выделены отдельные схемные «кубики», выделены некоторые типовые узлы и блоки, которые можно без всяких изменений переносить в другие схемы. В каждом отдельном случае по этому поводу даются рекомендации, а иногда и приводятся блок-схемы, показывающие, как соединять схемные узлы.

Каждый схемный блок, как правило, связывает с внешним миром всего несколько проводов (на схемах они заканчиваются небольшими треугольниками), в частности провод «Вход» (*«Вх»*), который подключается к предыдущему блоку, провод «Выход» (*«Вых»*), к которому подключается последующий блок, провод «Минус» («—»), к которому подключается «минус» источника питания (или провод с таким же обозначением «—» другого блока), и провод «Общий» (*«О»*), к которому подключаются «плюс» источника питания и все другие провода с обозначением «Общий» (*«О»*). Естественно, что, соединив блоки, «плюс» и «минус» самого источника питания достаточно подключить к точкам *«О»* и «—» только в одном блоке. Правда, нередко все бывает наоборот — с общим проводом соединяют не «плюс», а «минус» источника питания. Здесь многое зависит от типа применяемых транзисторов и микросхем (см. стр. 168, 191, рисунок Р-86;3), и на это нужно обращать внимание сразу, при первом же знакомстве со схемой.

Вскоре вы научитесь и сами компоновать сложные схемы из простых типовых блоков, используя для этого интересные элементы не только из этой книги, но и из других источников, из различных любительских и промышленных электронных схем.

Все имеющиеся в книге практические схемы сгруппированы на отдельных страницах, имеют самостоятельную нумерацию по всей книге и обозначение «К», от слова «конструирование». У каждой отдельной схемы или чертежа на такой странице есть свой порядковый номер, на который и дается ссылка в тексте. Так, например, ссылка К-2;7 означает, что имеется в виду седьмая схема на рисунке К-2.

В некоторых случаях принципиальные схемы дополнены объемными схемами (например, К-1;2 или К-3;2), которые наверняка помогут начинаю-

щему радиолюбителю совершить трудный переход от принципиальной схемы к монтажной. Часто дается еще и один из вариантов монтажной схемы, в расчете на навесной монтаж (К-11;2) или на печатный (К-17;5).

Кроме практических схем, буквой «К» обозначены еще и три вспомогательных рисунка: К-5 и К-6 с условными обозначениями некоторых деталей и К-7 с некоторыми технологическими рекомендациями и эскизами самодельных деталей. Нужно сказать, что в описаниях практических схем везде, где это возможно, предусмотрено применение самодельных деталей, даже таких, как реле, переключатели, контурные катушки. Сделано это на тот случай, если под руками не будет нужных «фирменных» деталей заводского изготовления. Или если захочется, как говорится, из спортивного интереса все, что можно, сделать своими руками.

Именно здесь, пожалуй, уместно сделать **важное предупреждение.** Так уж случилось, что система условных изображений и сокращенных буквенных обозначений радиодеталей менялась несколько раз. В результате в радиолюбительской литературе разных лет одни и те же детали изображаются и обозначаются по-разному. Правда, изображения, как правило, очень похожи, но все же различия есть и конденсатор с резистором не спутаешь. Последние изменения связаны с появлением так называемой машинной графики: чертежи и схемы сейчас во многих случаях выполняет не человек, а весьма распространенное устройство — графопостроитель, автоматическим пером которого управляет электронная вычислительная машина (об этом рассказано в главе 18). Графопостроителю проще делать чертеж линиями одинаковой толщины, и в связи с этим несколько лет назад была введена система условных обозначений, где и соединительные провода, и обмотки катушек, и все элементы других деталей изображаются сравнительно тонкими одинаковыми линиями.

Этот последний узаконенный стандартом вариант условных обозначений показан на К-3;15—41 в небольших синих рамках. Все остальные варианты условных изображений и буквенных значений, показанные на рисунках 15—41, использовались еще сравнительно недавно, их можно встретить в радиолюбительских книгах и журналах, выпускающихся на протяжении нескольких десятилетий. Для рисунков этой книги выбраны именно эти условные изображения деталей, они несколько отличаются от последнего стандарта, но зато более броские и выразительные, в основном за счет использования линий разной толщины.

Принятые в книге сокращенные буквенные обозначения деталей тоже отличаются от приведенных в тех же синих рамках буквенных обозначений, узаконенных последним стандартом. Сделано это потому, что начинающий радиолюбитель будет проще воспринимать обозначения, которые легко связать со знакомыми словами: *Т* — транзистор, *Д* — диод, *R* — резистор и т. д.

В случае же если вам придется знакомиться со схемами в свежих журналах, имеющими иные обозначения и начертания деталей, или придется готовить не упрощенный рисунок, а официальный документ или схему, которая должна строго соответствовать стандарту, то вы легко найдете нужное условное обозначение на рисунках К-3;15—41.

Большинство приведенных в книге практических схем можно для начала собрать на небольшом куске фанеры с монтажными лепестками из жести (К-7). На таком макете удобно подобрать нужные детали, установить заданные напряжения, привыкнуть к схеме, а затем уже, если захочется, перенести ее на более элегантную панель и упрятать в корпус. Правда, многие схемы можно так и оставить на фанерной монтажной панели: в таком раз-

вернутом монтаже есть даже какая-то красота. Не говоря уже о том, что схема всегда открыта, к любой детали можно быстро добраться, если нужно устранить неисправность или проверить какую-нибудь свежую идею совершенствования прибора.

Т-3 **Т-3. В книге есть некоторое количество справочных материалов первой необходимости, они обозначены буквой «С».** Современный радиолюбительский справочник — это, как правило, довольно толстый том, а то и двухтомник. И конечно же, все справочные материалы, которые могут понадобиться радиолюбителю, ввести в эту книгу невозможно. Здесь вы найдете справочные данные только самой первой необходимости — данные распространенных типов транзисторов и диодов, некоторых трансформаторов, катушек громкоговорителей, микрофонов, намоточных проводов. Все эти данные расположены в тексте отдельными блоками, имеют свою собственную нумерацию, обозначение «С» — «справки» и отдельное оглавление в конце книги.

Некоторые справочные данные, такие, скажем, как расчетные формулы, можно найти на рисунках, относящихся к основному тексту, и в самом этом тексте, о котором хочется сказать особо.

Т-4 **Т-4. Книга позволяет сочетать практическую работу с изучением основ электроники, продвигаться вперед от простого к сложному.** Есть два способа научить человека управлять автомобилем. Первый способ такой. Будущий водитель сразу садится за руль, и ему дают конкретную инструкцию: «Хочешь ехать вперед — передвинь этот рычаг на себя и влево, хочешь ехать назад — передвинь его на себя и вправо. Прежде чем переставлять рычаг, нажми вот эту левую квадратную педаль, а когда переставишь рычаг, отпусти ее. Хочешь ехать быстрее — надавливай на эту продолговатую педаль, хочешь притормозить — дави на эту правую квадратную педаль. Вот и все. Поехали...»

А вот другой способ. Человеку, который хочет водить машину, нужно сначала рассказать, хотя бы в самых общих чертах, о том, как этот автомобиль устроен. Как работает двигатель, как вращение передается колесам, что происходит при переключении скоростей, при нажатии на педаль сцепления, открывании дроссельной заслонки карбюратора, рассказать о всех основных процессах, которые происходят во время управления машиной. И только после такого рассказа будущему водителю показывают, какие ручки и педали управляют теми или иными агрегатами, объясняют, в каких случаях и как ими пользоваться.

Эти два варианта освоения автомобиля очень похожи на два типичных пути, которыми радиолюбители идут к конструированию электронных приборов. Первый начинается с того, что человек берет в руки паяльник и по готовому описанию со схемой пытается сразу же собрать приемник, усилитель, магнитофон, не вдаваясь в такие мелочи, как принцип действия тех или иных приборов и назначение тех или иных элементов схемы. А вот другой путь — изучение основ электротехники и радиоэлектроники, а затем уже со знанием дела практическая работа, конструирование электронных установок и аппаратов.

Если разобраться строго, то правильней и разумней идти вторым путем — от теории к практике, от понимания к действию. Но знакомство с основами электроники — дело не простое и не быстрое, тем более что предварительно нужно укрепить фундамент, вспомнить основы электротехники. А человеку не терпится, хочется побыстрее заняться делом — сверлить, паять, налаживать, побыстрее сделать что-нибудь такое, что само поет, играет, мигает лампочками. Хочется побыстрее нажать на педали и двинуться в путь.

С учетом всех этих «хочется» и «нужно» книга построена так, что допускает некий, если можно так сказать, гибридный путь в радиолюбительство. Из всего множества приведенных здесь схем и конструкций выделено несколько, рассчитанных на самого что ни на есть начинающего радиолюбителя, на того, кто в части радиоэлектроники находится на нулевой отметке. К числу таких «нулевых конструкций» относятся представители «поющих» и «мигающих» схем — мультивибраторы (К-10), детекторный приемник (К-9;3), приемник прямого усиления (К-3), простейшие схемы и конструкции, собанные на рисунках К-1 и К-2: электропроигрыватель с усилителем (К-1;1, 6, 7), приставка к гитаре, превращающая ее в электрогитару (К-1; 8, 9), световой тир (К-2; 1, 2, 3, 4), электронная мандолина (К-2; 5, 6, 7), электронный камертон (К-1;11), простейшие приборы для проверки и налаживания электронных схем (К-1;10 и К-2;9,10). Описания этих схем и конструкций сделаны несколько более подробно, чем всех остальных, в описания введены сведения о работе схемы, о назначении некоторых ее деталей. Одним словом, все рассчитано на то, чтобы эти «нулевые» конструкции можно было сделать еще до знакомства с теоретическими разделами книги или параллельно с изучением основ электроники, в какой-то степени сочетая таким образом то, что нужно, и то, что хочется.

Т-5. Основной текст книги посвящен основам электроники и некоторым конкретным ее направлениям, он обозначен буквой «Т». Одно только есть предостережение: не хотелось бы, чтобы первые успехи в сборке простейших схем передвинули на второй план знакомство с основами электротехники и электроники, создали иллюзию, что с этим делом можно подождать или даже вообще обойтись без него. Если вы не хотите понапрасну терять время на разгадывание известного или бросать работу, отчаявшись найти неисправность в схеме, когда обнаружить ее — дело одной минуты, если вы не хотите повторять чужие ошибки и слепо копировать посредственную схему, когда есть десятки способов улучшить ее,— одним словом, если вы не хотите блуждать в потемках по путаным дорогам страны Электронии, вашим девизом должно стать «знай и умей». Можно прекрасно собрать велосипед, не зная теоретической механики, и успешно пилить дрова, не зная теории резания древесины. Но успехи в области практической электроники в принципе невозможны без определенного теоретического фундамента. Т-5

Теория — это сконцентрированный опыт миллионов, собранные, приведенные в систему правильные решения, отброшенные в сторону бессчетные ошибки. Теория — это молниеносные мысленные эксперименты вместо долгих и дорогостоящих опытов «в металле», быстрый выбор правильного ответа вместо бесконечного слепого перебора и гадания. Теория — это кратчайший путь к нужному практическому результату. Прекрасно сказал великий итальянский физик Энрико Ферми: «Нет ничего практичнее хорошей теории».

В этой книге весь теоретический материал разбит на двадцать глав. Первые десять посвящены основам электротехники, радиотехники, электроники, это фундамент, необходимый для того, чтобы построить прочное здание знаний и умений. Последние десять глав посвящены некоторым конкретным областям электроники — радиоприемникам, высококачественному воспроизведению звука, магнитной записи, телевидению, электронной автоматике, измерениям, электронной музыке, вычислительным машинам и др.

В каждой главе есть некоторое количество сравнительно небольших разделов, они имеют сквозную нумерацию по всей книге и обозначаются буквой «Т» — от слова «теория». Конечно же, основной текст книги, тот, что назван

«теорией», не очень-то похож на теорию в истинном, высоком смысле этого слова, теорию, насыщенную математическими формулами, охватывающую весь комплекс вопросов, связанных с данной темой. Основной текст книги — это очень краткий и по возможности предельно упрощенный пересказ некоторых элементов теории; теорией его можно называть только условно. Если же применение слова «теория» покажется вам вообще недопустимым, можете считать, что обозначение «Т» идет от слова «текст».

Т-6 **Т-6. Рисунки, поясняющие основной текст, образуют самостоятельную сюжетную линию книги, они обозначены буквой «Р».** В разделы теории входят рисунки, они обозначаются буквой «Р» и имеют свою собственную нумерацию, тоже сквозную, от начала книги до конца. На рисунке может быть несколько фрагментов с отдельными номерами, на них и дается ссылка в тексте. Так, например, ссылка Р-18;2 означает «второй рисунок-фрагмент на сборном рисунке Р-18».

На рисунках помещены и формулы — как основные, так и расчетные, вспомогательные. Ссылка на формулу выглядит точно так же, как и ссылка на рисунок. Обозначение в скобках возле той или иной величины в формуле говорит о том, в каких единицах должна быть выражена эта величина.

Рисунки подобраны и скомпонованы так, что они как бы образуют самостоятельную сюжетную линию книги: просматривая эти рисунки, можно освежить в памяти знакомые разделы электротехники и электроники, вспомнить, о чем говорилось в той или иной главе и насколько подробно. Одним словом, рисунки «Р» — это своего рода сжатый конспект основного текста.

Т-7 **Т-7. Книга написана на нескольких разных языках, освоить их — значит сделать самый важный шаг в электронику.** Внимательно наблюдая за самим собой, нетрудно убедиться, что мы мыслим словами. Стоит вам подумать: «Я иду в школу» — и где-то в глубине звучат неслышимые слова: «Я и-ду в шко-лу». Английский мальчик о том же самом подумает так: «Ай гоу ту тзе скул», немецкий мальчик: «Их гее ин ди шуле».

Каждый человек думает словами, думает на том языке, на котором говорит. Или скажем иначе: человек говорит на том языке, на котором мыслит. И не случайно преподаватели иностранных языков считают, что вы только тогда по-настоящему изучили язык, когда начали мыслить на нем так же, как и на своем родном.

Но вот шахматист, автоматически сделав несколько первых ходов, задумывается над сложной позицией. Неужели же и он в это время думает словами, слышит неслышимые: «Ес-ли я на-па-ду ко-нем на е-го сло-на, то он пой-дет на по-ле вэ-че-ты-ре и, заб-рав мо-ю пеш-ку, по-па-дет под у-дар мо-е-го фер-зя, и тог-да...»?

Нет, конечно же, шахматист не думает звучащими словами разговорного языка. Он думает совсем на другом языке, на специфическом языке шахмат, оперирует в своем сознании готовыми образами фигур, позиций, ходов, комбинаций. Точно так же, как механик, всматриваясь в сложную машину, мыслит на своем языке, «слова» которого — это образы конкретных деталей, их типичные взаимодействия, скажем, зацепление шестерен или червячной передачи. И так же, как математик, читая свои математические тексты, тоже обходится без разговорного языка, мыслит математическими символами и действиями, а композитор — мелодиями, аккордами, ритмами.

Нас окружает огромный мир, мир вещей и явлений. И в нашей вычислительной машине, в нашем мозгу, по мере того как мы познаем этот мир, строится его модель, которая состоит из записанных в память слов, картин, элементов их взаимосвязи. (Пока никто не знает, как вводятся в мозг или

извлекаются эти записи, в каком виде они существуют: то ли это комбинации возбужденных нервных клеток, то ли комбинации молекул в клетке или атомов в молекуле, то ли комбинации электрических или химических сигналов.)

Самое универсальное средство для описания мира, для построения его модели — наш разговорный язык. Но для некоторых фрагментов этой модели, таких, как устройство машин, шахматы, музыка, электронные аппараты, химические соединения, существуют и специальные языки, более удобные, более оперативные и экономные. Здесь может быть уместно такое сравнение: универсальный автомобиль для перевозки грузов — это грузовик с откидными бортами, на нем можно перевозить все. Но для перевозки песка удобней самосвал, для перевозки людей — автобус, для перевозки молока — автоцистерна. Мы пользуемся универсальным языком звучащих слов или осваиваем новые языки в зависимости от того, какую задачу нужно решить, что нужно описать — простую житейскую ситуацию «я иду в школу», устройство машины или состав вещества. В первом случае удобен разговорный язык, во втором — язык чертежа, в третьем — язык химических формул.

Чтобы заниматься электроникой, обязательно нужно освоить несколько новых языков. Прежде всего, это язык схем, на котором осуществляется описание электрических цепей электронных приборов (Т-34, Т-36, Т-156, и др.). Затем — язык графиков, с его помощью удобней всего рассказать о процессах, которые происходят в электронном приборе (Т-64). Еще язык спектров, который лучше всего описывает важнейшие преобразования электрического сигнала, этого главного героя электронных схем (Т-100). Очень удобен и язык математических формул, он, в частности, помогает экономно и наглядно представить важнейшие законы электрических цепей (Т-32).

Чтобы знать электронику, нужно прежде всего знать эти специальные языки, пусть не в очень большом объеме, но знать очень хорошо, свободно мыслить на них, мыслить на языке схем, графиков, простейших математических формул. Освоение этих языков — одна из главных наших целей, к ней мы будем постепенно, шаг за шагом, продвигаться, с каждым шагом чувствуя себя уверенней и свободней в сложном мире электроники.

Т-8. Многое в книге излагается упрощенно, а кое-что очень упрощенно и, может быть, даже слишком упрощенно. Т-8 Один известный астрофизик, рассказывая о своей работе, заметил, что ему, наверное, никогда не удалось бы успешно развивать свою науку, если бы он постоянно представлял себе чудовищные космические расстояния или гигантские интервалы времени, которыми измеряются космические события. Работая, он думал совсем иными масштабами, оперировал образами, крайне упрощенными, но зато удобными, такими, которые легко себе представить. Ну, скажем, Солнце он мысленно представлял себе как некий шар с диаметром 10 сантиметров. А иногда и нашу Галактику считал однородным телом, приравнивал ее к своего рода плоскому солнцу, хотя в Галактике десятки миллиардов звезд, похожих на наше Солнце, а само оно в тысячи миллиардов раз меньше Галактики. В нашем рассказе об электронике и электронных приборах такой прием — упрощение истинной картины, изменение масштабов, использование образов искаженных, но более удобных для обдумывания — будет встречаться очень часто. Иногда это делается для того, чтобы читателю можно было проще обдумывать сложные процессы, а иногда для того, чтобы автору было легче их объяснить.

Мы будем, например, представлять себе атомные ядра и даже сами атомы маленькими шариками, этакими горошинами или маковыми зернышками,

в то время как все это сложнейшие системы, собранные из множества разнообразных деталей, размеры которых невообразимо малы.

Мы будем часто пользоваться аналогиями, сравнивая, например, электромагнитные процессы с механическими (переменный ток с качелями или заряд конденсатора с наполнением ведра), в то время как сходство между ними чисто внешнее, физическая сущность этих похожих процессов совершенно разная.

Мы будем, наконец, пользоваться привычными, житейскими словами, чтобы рассказать о сложных электрических явлениях, будем, например, употреблять такие выражения, как «электроны быстро побежали», или «магнитное поле старается помешать нарастанию тока», или даже «атомное ядро не хочет отпускать электроны». Подобные выражения в тексте встречаются настолько часто, что пришлось отказаться от спасительных кавычек, иначе страницы текста просто пестрили бы кавычками.

Все это делается только для того, чтобы можно было думать о вещах сложных и непривычных в терминах знакомых и понятных, чтобы облегчить познание нового, пользуясь самым, пожалуй, сильным средством — сравнением, сопоставлением, связыванием с тем, что уже известно. И еще для того, чтобы по возможности не выпускать на эти страницы огромное количество слов и символов, необходимых для достаточно аккуратного, достаточно строгого описания сути дела. Встречаясь в тексте с грубыми механическими моделями электронных схем, с искаженными масштабами, с сильно упрощенными процессами или структурами, с разного рода прыжками электронов или стараниями магнитных полей, нужно помнить, что все это лишь «военная хитрость», необходимая для штурма крепостей непонятного. И что упрощенное описание какой-либо физической сложности — это не более чем упрощенное описание.

Т-9 **Т-9. В книге приняты меры для того, чтобы можно было быстро найти нужный раздел и узнать, о чем в нем говорится.** Эта книга названа радиолюбительской энциклопедией, в ней по возможности рассказано о разных областях электроники, о принципах построения и конкретных особенностях самых разных электронных схем. Последовательность изложения выбрана такой, чтобы рассказ шел от простого к сложному, от известного к неизвестному. Но вполне может оказаться, что читателю понадобится нарушить эту последовательность. Хотя бы потому, что какие-то разделы ему уже известны или о каком-нибудь приборе, о какой-нибудь схеме хочется узнать побыстрее, «вне очереди».

Поиск нужного материала облегчает алфавитный указатель, он помещен на так называемом форзаце — это обратная сторона первой и последней обложки и примыкающие к ним страницы. Кроме того, в конце книги имеются оглавления, отдельные для основного текста Т, чертежей и схем К, справочных материалов С. Краткое, правильнее даже сказать сверхкраткое содержание всех разделов текста Т приводится в начале каждого раздела (жирным шрифтом, перед основным текстом). Эти краткие резюме могут быть полезны и в том случае, когда нужно повторить пройденное, чтобы двинуться дальше.

Т-10 **Т-10. Книга должна помочь вам сделать первые шаги в электронику и создать фундамент знаний для дальнейшей самостоятельной работы.** Еще каких-нибудь тридцать лет назад радиолюбители интересовались в основном несколькими областями радиоэлектроники — радиоприемниками, грамзаписью, коротковолновыми радиостанциями. И постройка многолампового приемника с коротковолновыми диапазонами считалась чуть ли не верши-

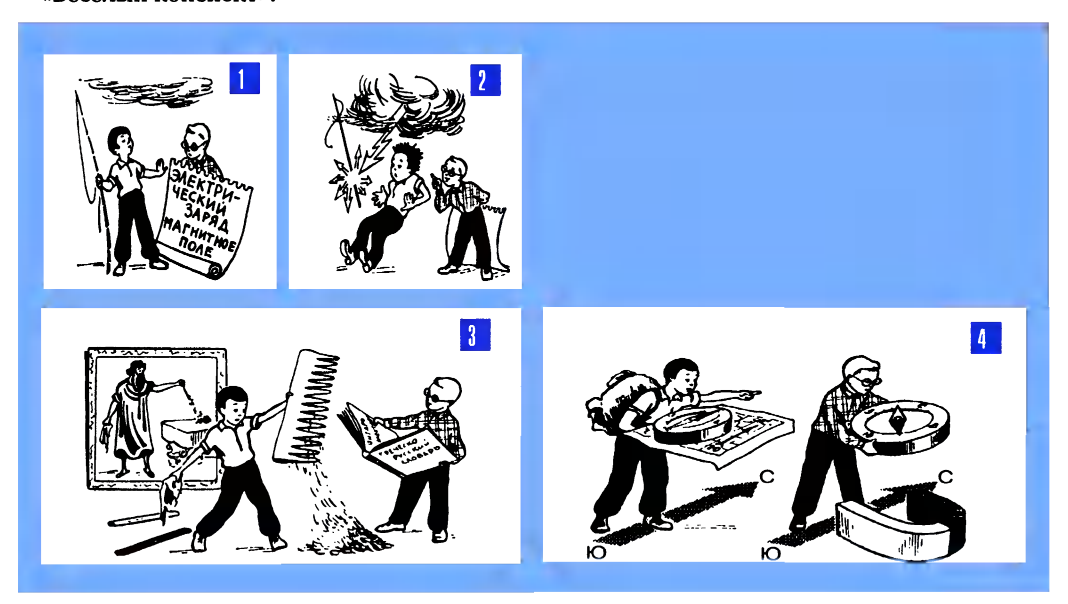
ной любительского мастерства. Сегодня любитель довольно быстро добирается до этой вершины и считает, что его продвижение в практическую электронику только начинается.

Выйти к вершинам любительского конструирования электронных приборов, конечно, не просто. И дело это не быстрое — за два дня не научишься конструировать магнитофон или налаживать телевизор. Однако же и путь от простейшего однотранзисторного приемника к сложным электронным схемам, к усилителям высококачественного звучания, цветным телевизорам, карманным магнитофонам, электрогитарам, электронным роботам — путь этот прошли уже многие тысячи людей. Хочется верить, что эта книжка поможет вам сделать первые шаги на пути в электронику, поможет запастись фундаментальными знаниями и приобрести практическую хватку. А это есть самые важные слагаемые дальнейшего успешного продвижения вперед.

ВЕСЕЛЫЙ КОНСПЕКТ

Многие важные темы, затронутые в книге, представлены в виде своеобразного конспекта — серии из примерно 200 юмористических рисунков (стр. 11, 25, 50, 70, 85, 111, 152, 171, 206, 224, 252, 287, 299, 309, 321, 340, 357, 387, 400, 420, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000). Большинство из них выполнено на основе рисунков из первых трех книг серии «Шаг за шагом» (Т-310). Веселые картинки для этих книг по эскизам автора сделал Николай Алексеевич Фролов — военный строитель, ученый и талантливый самодеятельный художник, безвременно ушедший из жизни много лет назад. Так случалось, что издатели книги «Электроника шаг за шагом» возражали против большого количества веселых картинок, и автор только сейчас получил возможность представить их читателю.

Художник Зоя Флоринская выполнила огромную руботу по подготовке к печати старых рисунков и дополнила их двумя десятками новых. Рисунки имеют собственную нумерацию, и редкие ссылки на них содержат номер рисунка после букв ВК — «Веселый конспект».



ГЛАВА 2
ВСТРЕЧА С ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ



Т-11 **Т-11. Мир, в котором мы живем, устроен намного сложней, чем это кажется с первого взгляда.** Если раздобыть где-нибудь машину времени, проехаться на ней в далекое прошлое и побеседовать с тамошним жителем, то он нарисует вам картину мира довольно-таки простую. В ней будет твердый потолок-небосвод, на котором закреплены тлеющие угольки-звезды, будут мельчайшие частицы вещества — пылинки, разделить которые, раздробить уже невозможно, будет трение, рождающее огонь, и холод, превращающий воду в лед, будет огромный шар-костер, который каждый день перекатывается по небосводу от одного его края до другого. И еще будут некоторые твердо установленные истины, по нынешней терминологии, законы природы. Например, такие: «дерево, пожираемое огнем, дает тепло», «в воде дерево не тонет, а камень тонет», «всякое тело стремится к земле: тяжелый камень, легкий лист, мягкая капля и пушистая снежинка — все падает на землю, тянется к ней по своей собственной воле».

Не торопитесь, пожалуйста, выводить своему далекому предку двойку по природоведению. Таким же, наверное, виделось бы окружающее любому из нас, если бы он вырос где-нибудь на необитаемом острове, без парового отопления и шариковых ручек, без магазинов «Гастроном» и журнала «Юный техник». А потом, если вдуматься, запас знаний человека древнего, необученного был не таким уж скудным, и в школе природы он никогда не был в числе отстающих.

Великая мастерица — эволюция долго и тщательно работала над своим лучшим творением Человеком и снабдила его изумительными инструментами познания мира. Зрение, слух, обоняние, осязание, датчики температуры и давления, тонкие химические анализаторы вкуса и, наконец, изумительный компьютер мозг — все это открыло Человеку мир в огромном многообразии вещей и явлений. На школьном уроке, который длился тысячелетия, работая и наблюдая, замерзая и обжигаясь, в борьбе со стихиями, голодом и хищным зверьем, твердо усвоил Человек такие понятия, как «быстрый» и «медленный», «тяжелый» и «легкий», «теплый», «холодный», «далекий», «большой», «горький». В плоть и кровь человеческую вошли представления о плотности вещества и скорости движения, о массе, размерах, времени, температуре — словом, важнейшие представления о мире, в котором нашим предкам приходилось жить и бороться за жизнь. Никакой другой житель планеты не имел столь детальной картины мира.

И все-таки...

И все-таки это была картина мира, созданная всего лишь диким обитателем лесов и пещер, собирателем плодов, охотником, имевшим в своем

арсенале только палку и камень. Эту картину, конечно же, не сравнишь с тем, что знает современный человек, пассажир реактивного лайнера и владелец карманного магнитофона, исследователь живой клетки, строитель небоскребов.

Т-12. Человечество не быстро и не легко выясняло, как что устроено в природе. Сначала, наверное, лишь одинокие смельчаки решались перейти порог дозволенного, пытались увидеть больше, чем хочет показать природа. Эти безвестные академики сделали немало великих открытий и изобретений, таких, скажем, как рычаг, колесо, ориентировка по звездам, земледелие. И еще одно, наверное, самое великое,— школа: человек научился передавать знания потомкам, с тем чтобы они не начинали все с самого начала, «с нуля», а могли бы пользоваться уже достигнутым. И идти дальше. Т-12

В далекой, уже невидимой древности начались бои на огромном фронте познания мира. Было время — линия этого фронта, линия, отделяющая знание от неизвестности, продвигалась вперед очень медленно. Века, тысячелетия уходили на то, чтобы понять какую-нибудь простую, как сейчас кажется, истину — задачи, которые приходилось решать древним мыслителям и исследователям, были для них столь же мучительно трудными, как и современные научные проблемы для ученых наших дней. Но с каждой новой победой, с новым открытием росли силы наступающей армии, знание помогало добывать знание, все быстрее шли вперед передовые части науки. И вот уже восхищенное человечество рукоплещет глубоким прорывам в тайны жизни, в глубины вещества и просторы Вселенной, фантастическим успехам химии, медицины, астрофизики, энергетики, блистательным научным победам последних столетий, так сильно изменившим не только наше миропонимание, но и сам образ нашей жизни.

В нескольких популярных книгах о науке встречается интересный прием, помогающий почувствовать темпы человеческого прогресса в разные времена. Авторы сжимают масштаб времени в тридцать миллионов раз, так что каждый год прошлого превращается в секунду. Вот как располагаются некоторые события на такой сжатой шкале времени.

Примерно сто пятьдесят лет назад в неприметном уголке огромной Вселенной из газопылевого облака, окружавшего звезду Солнце, образовалась цепочка планет, и в их числе — наша Земля. Лет двадцать Земля остывала, а еще через десять на некоторых участках ее поверхности в теплых водах Мирового океана начались сложные химические процессы с образованием больших молекул, началась предыстория жизни. Около ста лет назад появились первые примитивные живые клетки, а затем много десятилетий они совершенствовались, специализировались, объединялись в многоклеточные организмы. Лет десять — двенадцать назад появились рыбы и папоротники, пять лет назад — динозавры, которые, правда, уже через год исчезли с лица земли. Немногим более четырех лет назад в небо поднялись первые птицы, примерно через год начали появляться млекопитающие.

И только месяц прошел с тех пор, как из царства животных выделился человек.

Т-13. Электрическая (янтарная) сила похожа на силу тяжести, но имеет совсем другую природу. Если бы мы захотели отметить на нашей сжатой шкале времени научные открытия, пусть даже не все, а только очень важные, то появилось бы на этой шкале огромное множество черточек. «Механизмы горения». «Кровообращение». «Молекулярное строение вещества». «Устройство живой клетки». «Шарообразность Земли». «Реактивное движение». Т-13

«Циклы солнечной активности». «Разбегание галактик». «Деление атомных ядер». «Противомикробный иммунитет». «Химическая связь». «Подъемная сила крыла». «Синтетические волокна». «Синтетические алмазы». «Световой спектр». «Строение белка».

Из всего этого множества черточек-отметок несколько нужно было бы как-то выделить, скажем, сделать их подлиннее или нарисовать другим цветом. Это были бы отметки, соответствующие особо важным открытиям, суперважным. Открытиям совершенно новых для человека, принципиально новых свойств окружающего мира.

Вы подняли с земли небольшой камушек, а затем разжали ладонь, и камушек падает вниз, тянется к земле. Почему? Так устроен мир, в котором мы живем,— все тела притягиваются друг к другу, стремятся сблизиться, и это явление мы называем гравитацией, гравитационным взаимодействием. Откуда оно берется? Почему действует именно так, а не иначе? Ответ все тот же — так устроен мир...

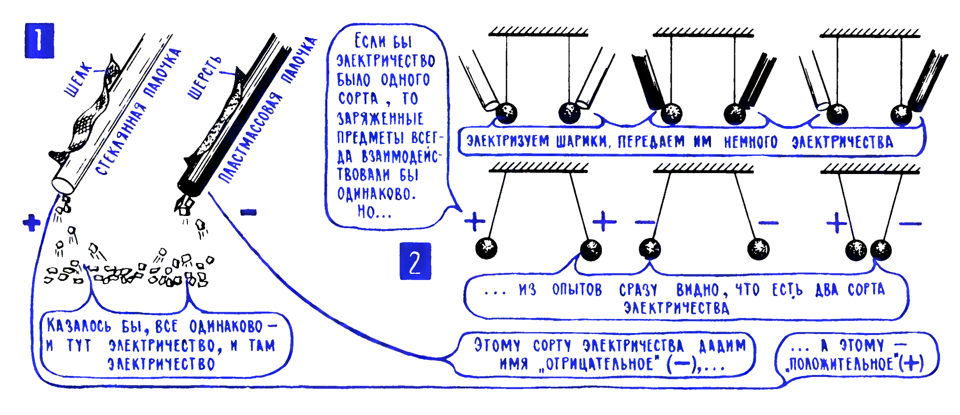
Один из примеров гравитационного взаимодействия — притягивание предметов к земле, то, что в нашем сознании связывается со словами «сила тяжести», «вес», «земное притяжение». Железный шар тянется к земле сильнее, чем деревянный, большой — сильнее, чем маленький. Характеристика какого-либо физического тела, которая показывает, насколько сильно, насколько активно это тело участвует в гравитационных взаимодействиях, называется его массой. Чем сильнее физическое тело — камень, железный или деревянный шар, капля воды, планета — тянется к другому физическому телу под действием гравитационных сил, тем, говорим мы, больше масса этого тела. А можно сказать так: чем больше массы взаимодействующих тел, тем сильнее их гравитационное притяжение. Кстати, именно поэтому такими легкими чувствуют себя космонавты на Луне: ее масса меньше, чем масса Земли, и Луна тянет к себе в несколько раз слабее.

С гравитацией человек познакомился тогда, когда он еще не был Человеком. Мы привыкли к ней, считаем ее совершенно естественной и чуть ли не единственной силой, которая правит миром.

Но вот около двух с половиной тысяч лет назад древнегреческий философ и исследователь природы Фалес Милетский впервые отмечает, что у гравитации есть могучий соперник, ранее ловко скрывавшийся от людей. Обнаружилось, что если натереть шерстью янтарную палочку, то палочка притягивает к себе легкие предметы, скажем клочки ткани. Под действием своей тяжести, то есть под действием гравитационного притяжения к земле, эти клочки ткани должны были бы падать, двигаться вниз. А они, преодолевая силы гравитации, упрямо поднимаются вверх (Р-1).

О чем это могло говорить? Только об одном — кроме гравитационных сил, кроме сил притяжения, которые стремятся сблизить, стянуть в одно место две массы, в мире существуют еще какие-то силы, которые в данном опыте с натертой янтарной палочкой оказались сильнее гравитационных. Какова природа неизвестных ранее сил? Почему только после натирания янтаря у него появляются новые свойства?

Ответить на эти вопросы первые исследователи не могли, они лишь зафиксировали обнаруженный факт и дали новому явлению свое название — «электричество». На русский язык это слово можно было бы перевести так: «янтарничество». Потому, что «электричество» происходит от греческого слова «электрон», что означает «янтарь», и «электричеством» новое явление было названо именно потому, что оно было обнаружено в опытах с янтарной палочкой.



Опыты с натиранием янтаря позволяют сделать очень важный вывод. До этих опытов было известно только одно основное свойство материи — масса,— которое заставляло предметы притягиваться друг к другу, двигаться, работать. Натертый янтарь показал, что наряду с массой у вещества может быть еще одно работающее основное свойство, в дальнейшем ему дали название «электрический заряд». Почему электрический — понятно. Почему заряд? Трудно сказать... Может быть, тот, кто впервые ввел это понятие — электрический заряд,— представлял себе, как, натирая янтарь, в него вталкивают некую невесомую электрическую массу, заряжают янтарь электричеством, подобно тому как заряжали когда-то пушку, вталкивая в нее стальное ядро. Любопытно, что в английском языке в качестве нашего слова «заряд» используют слово charg, имеющее много значений, в том числе «цена», «поручение», «обязанность», «атака». Так что там «электрический заряд» по смыслу, видимо, означает «электрическая цена», то есть мера электрических свойств.

Электричество, электрический заряд — не единственное принципиально новое свойство материи, открытое пытливым человеком. Несколько тысячелетий назад у некоторых металлических руд были обнаружены ни на что другое не похожие магнитные свойства, которые не хуже гравитации и электричества могут работать, двигать физические тела. И уже совсем недавно, уже в нашем веке, открыт еще один совершенно новый сорт основных свойств материи — ядерные силы. Это не гравитация, не электричество, не магнетизм. Действуют ядерные силы совершенно самостоятельно, причем только на очень небольших расстояниях. Именно они каким-то своим собственным способом стягивают расталкивающие друг друга составные части атомного

К-1. СХЕМЫ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

1,2. Простой трехкаскадный усилитель низкой частоты. Выходной каскад (Т3) однотактный, и поэтому усилитель не очень экономичен: ничего не поделаешь, это плата за простоту схемы. В качестве нагрузки используется обычный абонентский громкоговоритель (Гр1) вместе с его собственным трансформатором и регулятором громкости («радиоточка»). Смещение на все три каскада подается с делителей (R1, R2; R5, R6, R8, R9), температурной стабилизации нет. Коллекторная цепь первого каскада отделена от двух остальных транзисторов развязывающим фильтром R4, C1. Выходная мощность усилителя — 50—100 *мВт*, и хотя это немного, громкость звучания на расстоянии нескольких метров может быть вполне удовлетворительной. Усилитель работает при коллекторном напряжении 4,5 *В* и даже при 3 *В*, но звук при этом получается совсем уже тихим. В процессе налаживания может понадобиться подобрать смещение последнего каскада (например, подбором R9), добиваясь минимального потребляемого тока (миллиамперметр включить в разрыв цепи в точке *а*) при удовлетворительной громкости. В случае самовозбуждения попробуйте соединить точки «—9 *В*» и «0» конден-

сатором емкостью 20—50 *мкФ* на 10 *В*. Более мощные простые усилители НЧ — на схемах К-7 и К-8.

3. Переговорное устройство. Используя этот усилитель НЧ или любой другой (К-7, К-8), можно сделать переговорное устройство для проводной связи до 50—100 метров, своего рода громкоговорящий телефон. Абонентский громкоговоритель («радиоточка») в нем будет по совместительству играть роль микрофона; переключение рода работы — «прием — передача» — осуществляется простейшим переключателем, в частности самодельным (К-4; К-5).

В обычном состоянии аппараты обоих абонентов включены в положение «прием» (переключатели П1 и П2 в верхнем по схеме положении), каждый громкоговоритель подключен к линии, он, если можно так сказать, ждет вызова. Если один из абонентов, например первый, захочет вызвать своего товарища, он переведет переключатель П1 в положение «передача» (именно такой случай показан на схеме 3). При этом «свой» громкоговоритель Гр1 подключится ко входу усилителя У1 и усиленный сигнал с выхода этого усилителя пойдет по линии к громкоговорителю Гр2. Точно так же с помощью переключателя П2 второй абонент переходит с «приема» на «передачу». В такой системе (она называется симплексной связью) оба абонента не могут говорить одновременно, как в обычном телефоне (дуплексная связь), и, сказав что-либо, нужно предупреждать своего абонента — «перехожу на прием!».

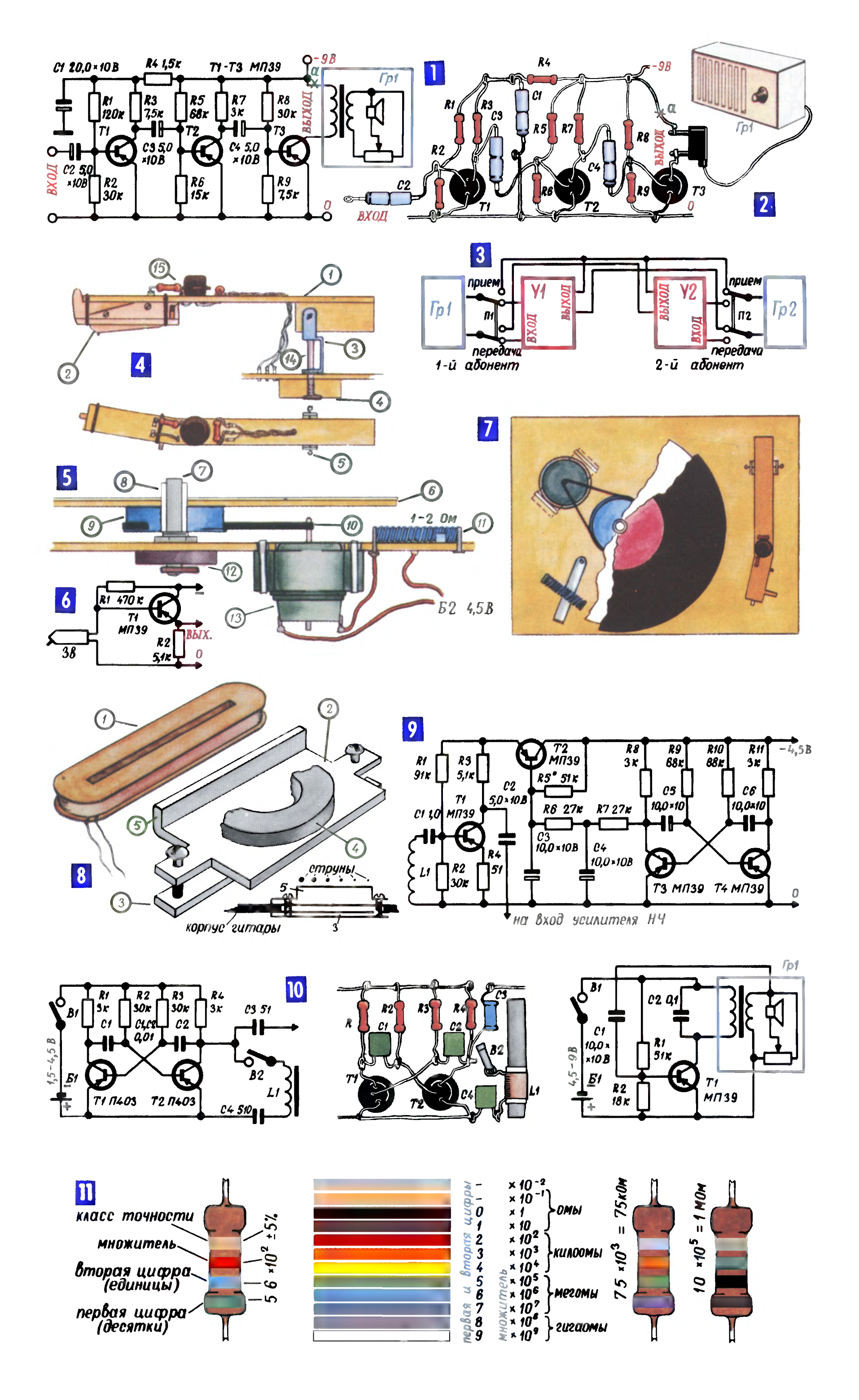
4, 5, 6, 7. Простейший электропроигрыватель. Качество звучания он дает очень невысокое и скорей представляет собой демонстрационную модель, чем устройство для прослушивания музыки. Проигрыватель рассчитан только на одну скорость 33 1/3 оборота в минуту. Мотор 13 — обычный «школьный моторчик» на 4,5 *В* от электрифицированных игрушек; скорость вращения подбирается с помощью самодельного реостата 11 (кусочек спирали от плитки). Вращение передается резиновым пассиком 10 на шкив 9 диаметром 35 *мм*, свернутый из синей изоляционной ленты. Шкив насажен на ось 7, которая вращается в подшипнике 12 — все это узел от сгоревшего переменного резистора, он взят вместе с крепежной гайкой; на ось плотно надета многослойная бумажная втулка 8, на нее садится пластинка. Поводок звукоснимателя («тонарм»), как и сама панель проигрывателя, сделан из фанеры, подвешен и закреплен с помощью гвоздя, двух деревянных брусков 4, булавки 5 и жестяной скобки 3. Прямо на поводке закреплен однокаскадный усилитель 15, с большим входным сопротивлением (Т-190); только через него пьезокерамический звукосниматель можно подключить ко входу усилителя НЧ, в том числе и к предыдущему (К-1; 1). Сама головка звукоснимателя может быть закреплена с помощью двух аптечных резиновых колец.

8, 9. Звукосниматель для гитары. Это приставка, которая превращает обычную гитару в электрогитару. Приставка состоит из двух частей — самого звукоснимателя и электронного блока. Звукосниматель располагают под струнами, погрузив в круглое отверстие гитары и зажав ее верхнюю деку между деталями стального сердечника 2 и 3. К верхней детали 2 приклеен кусочек любого магнита, на отогнутое ребро 5 надета катушка. Она намотана на склеенном из картона каркасе проводом 0,12—0,2 *мм* и содержит 200—500 витков. Когда над катушкой колеблется стальная струна (у медных струн внутри тоже есть стальная жила; с нейлоновыми струнами такой звукосниматель не работает), то меняется магнитное сопротивление цепи (Т-54) и в катушке наводится э. д. с. (Т-56). Сигнал со звукоснимателя подается на однокаскадный усилитель Т1, а с него на вход любого усилителя НЧ, например К-1; 1 или К-13; или, наконец, на вход «звукосниматель» любого приемника. В электронном блоке есть мультивибратор «вибрато» (Т3, Т4), который с очень малой частотой 3—5 *Гц* меняет громкость звука, придает ему особое звучание, особую вибрацию. Напряжение с мультивибратора через фильтр R7, C4; R6, C3 (он смягчает, сглаживает резкую форму импульсов мультивибратора) подается на базу вспомогательного транзистора Т2; он в данном случае играет роль управляемого переменного резистора, через который поступает питание на коллектор усилителя Т1. Под действием сигнала «вибрато» меняется сопротивление Т2, вместе с ним меняется режим Т1 и, как следствие, громкость звучания. Сначала целесообразно наладить звукосниматель без «вибрато», разорвав цепь между Т2 и R3 и подав питание (—4,5 *В*) только на Т1.

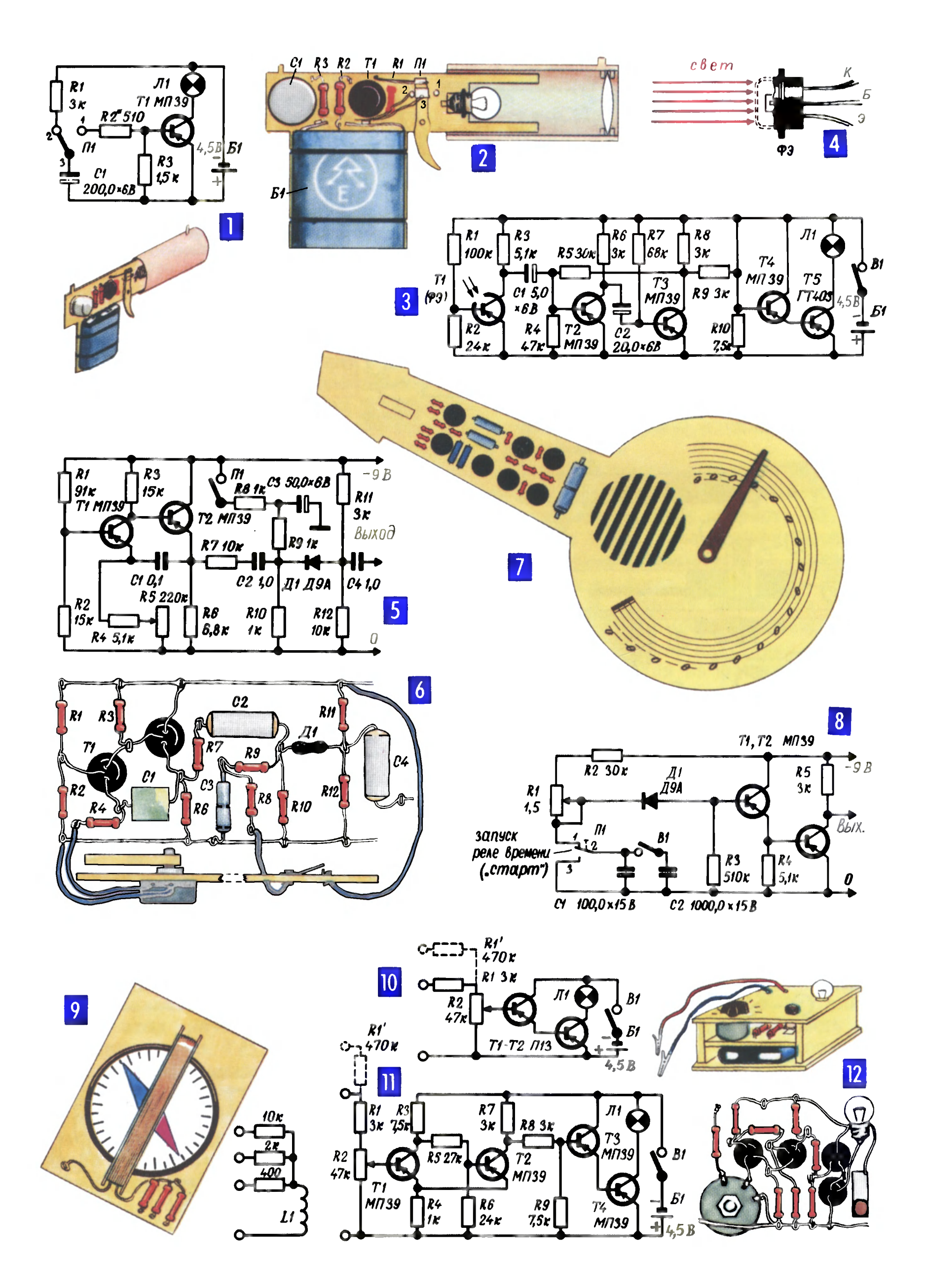
10. Генератор для проверки приемников. Это мультивибратор с основной частотой около 100 *кГц*, однако его гармоники (Т-176) попадают в диапазон средних и даже коротких волн. Сигнал с C3 подается прямо на вход приемника, или к его магнитной антенне подносит катушку *L*1, намотанную на кусочек ферритового стержня.

Звуковой генератор. Он собран по трансформаторной схеме (Т-171), роль контурной катушки и катушки обратной связи выполняют обмотки трансформатора «радиоточки», на основе которой и собран генератор. Частота определяется емкостью C2 и составляет 200—500 *Гц*. Генератор может использоваться для изучения азбуки Морзе, в качестве электрического звонка или сигнализатора.

11. Цветовой код. В последнее время при маркировке резисторов все чаще вместо цифровых обозначений используют давно известный цветовой код: цветными полосками обозначают сопротивление и класс точности (возможное отклонение от номинала, возникающее при серийном производстве).



К-1
С1 20,0×10В
R4 1,5к
Т1-Т3 МП39
-9В
Гр1
R1 120к
R3 7,5к
R5 68к
R7 3к
R8 30к
С3 5,0 ×10В
С4 5,0 ×10В
ВЫХОД
ВХОД
С2 5,0 ×10В
R2 30к
R6 15к
R9 7,5к
0
1
2
3
прием
передача
Гр1
П1
У1
ВХОД
ВЫХОД
У2
П2
Гр2
1-й абонент
2-й абонент
4
5
1-2 Ом
Б2 4,5В
6
R1 470к
Т1 МП39
R2 5,1к
ВЫХ.
3В
7
8
струны
корпус гитары
9
Т2 МП39
R1 91к
R3 5,1к
R5* 51к
С2 5,0×10В
Т1
С1 1,0 МП39
R6 27к
R7 27к
R8 3к
R9 68к
R10 68к
R11 3к
С5 10,0×10
С6 10,0×10
С3 10,0×10В
С4 10,0×10В
R4 51
L1
R2 30к
Т3 МП39
Т4 МП39
-4,5В
на вход усилителя НЧ
10
R1 3к
R2 30к
R3 30к
R4 3к
С1
С1,С2 0,01
С2
С3 51
В1
1,5-4,5 В
Б1
Т1 П403
Т2 П403
В2
L1
С4 510
R
Т1
Т2
С4
С2 0,1
С1 10,0×10В
R1 51к
R2 18к
Т1 МП39
4,5-9В
11
класс точности
множитель
вторая цифра (единицы)
первая цифра (десятки)
5 6 ×10² ±5%
первая и вторая цифры
множитель
×10⁻²
×10⁻¹
×1
×10
омы
×10²
×10³
×10⁴
килоомы
×10⁵
×10⁶
×10⁷
мегомы
×10⁸
×10⁹
гигаомы
75 ×10³ = 75кОм
10 ×10⁵ = 1 МОм



К-2. СХЕМЫ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

1, 2, 3, 4. Светотир. Эта увлекательная игра состоит из двух частей — пистолета для стрельбы в мишень световыми импульсами и самой мишени. В пистолете есть электронное реле (Т-264) на транзисторе Т1, зажигающее лампочку, когда на базу транзистора попадает «минус». А происходит это в тот момент, когда конденсатор С1, зарядившись от Б1 через R1 (Т-45), подключается переключателем П1 к базе (через R2). Правда, конденсатор С1 очень быстро разряжается через R2, R3 (подбирая сопротивление R2, можно менять скорость разряда), и лампочка гаснет. Но так и должно быть: если лампочка будет долго гореть, то световым лучом можно просто нащупать мишень и всякий интерес к прицельной стрельбе пропадет. Оптическая

система пистолета должна создавать на расстоянии 3—8 метров (на таком расстоянии ставится мишень) небольшое световое пятно. Для этого достаточно одной выпуклой линзы (например, от очков +8—+10), закрепленной в склеенном бумажном тубусе, который можно перемещать по фанерному остову пистолета. Переключатель П1 связан с курком: контакты 1,2 — это головки булавок, воткнутых в фанеру, а контакт 3 — жестяное кольцо.

В приемной части светотира («мишень») все начинается с фотоэлемента ФЭ, который можно изготовить из любого транзистора, очень аккуратно спилив с него часть корпуса. Когда на *pn*-переход попадает импульс света, сопротивление этого перехода резко падает и в коллекторной цепи появляется импульс тока. Он запускает ждущий мультивибратор (Т-268), собранный на Т2, Т3, а тот в свою очередь на несколько секунд через электронное реле Т4, Т5 (составной транзистор; Т-193) включает лампочку Л1 («попадание»). Время свечения лампочки можно менять, подбирая С2. Вместо лампочки Л1 можно включить моторчик с мельницей или иной игрушкой.

5, 6, 7 Электронная мандолина. Основа этого одноголосого электромузыкального инструмента (Т-246) — мультивибратор Т1, Т2, частоту которого можно менять в широких пределах переменным резистором R5. На его ось насажен длинный рычаг, поворачивая который можно исполнять несложную мелодию. Второй элемент управления — простейший самодельный выключатель П1 (латунная пластинка), который закрывает или открывает диод Д1 — при разомкнутом контакте П1 диод закрыт, с делителя R11, R12 на него попадает довольно большой запирающий «минус». При замкнутом контакте П1 «минус» появляется и с другой стороны диода, с делителя R8, R9, R10. И этот второй «минус» больше первого (так подобраны резисторы делителей), поэтому после замыкания П1 запирающее напряжение на самом диоде падает. Диод Д1 стоит на пути сигнала из мультивибратора к выходу, и, когда диод закрыт, сигнал этот не проходит. Так появляется возможность исполнять мелодию, прерывая звук, меняя длительность звучания отдельных нот. Благодаря конденсатору С3 при замыкании П1 отпирающее напряжение на диоде нарастает не сразу и не сразу исчезает, и это создает звук с мягкой атакой и мягким затуханием (Р-144). Этот схемный узел можно ввести и в любой другой электронный музыкальный инструмент. С выхода сигнал подается на любой простой усилитель НЧ, который вместе с громкоговорителем и батарейкой можно разместить на самом фанерном корпусе мандолины.

8. Реле времени. Чтобы начать отсчет времени, переключатель П1 переводим в верхнее по схеме положение «старт», и при этом мгновенно исчезает смещение на базе Т1 — напряжение на конденсаторе С1 в первый момент равно нулю, и именно этот нуль приложен к базе. В итоге Т1 мгновенно закрывается, вместе с ним закрывается Т2, и на выходе схемы появляется напряжение: при открытом Т2 напряжение на его коллекторе около нуля, при закрытом — почти 9 *В*. Но постепенно конденсатор С1 заряжается (от источника питания через R1, R2); когда напряжение на нем достигнет определенной величины — около 0,5 *В*,— транзистор Т1 откроется, откроет Т2, и напряжение на выходе схемы исчезнет. Время выдержки (время существования выходного сигнала), то есть время с момента переключения П1 («старт») до момента открывания Т1, зависит от того, насколько быстро заряжается С1, а значит, зависит от постоянной времени цепочки R1, R2, C1 (Т-46). С помощью R1 можно плавно менять выдержку, а добавлением С2 увеличивать ее примерно в десять раз. Диод Д1 нужен для того, чтобы открывание Т1 происходило резко, скачком: когда напряжение на диоде выйдет за пределы «ступеньки» (Р-80), ток в его цепи резко возрастет и откроет транзистор. К этой схеме в качестве оконечного блока можно добавить один из модулей К-19;6, К-19;7, К-20;3. В качестве П1 удобней всего использовать кнопочный переключатель без фиксатора (в том числе самодельный, К-5;6,7), с тем чтобы при нажатии кнопки (замкнуты контакты 2,3) конденсатор быстро разряжался и готовился к очередному отсчету времени, а при отпускании кнопки (замкнуты контакты 1,2) начинался отсчет. Используя вместо П1 электромагнитное реле, можно на расстоянии управлять схемой.

9. Индикатор напряжения (тока) с компасом. Это очень простой и, конечно, очень неточный индикатор напряжения, его даже неудобно называть вольтметром. Измеряемое напряжение подводится к катушке L1 (200—500 витков любого тонкого провода), по ней идет ток, он создает магнитное поле, которое отклоняет стрелку. Чувствительность прибора (Т-290) очень низкая, стрелку полностью отклоняет ток 20—30 *мА*. И все же в каких-то случаях (например, при проверке источников питания) прибор может служить индикатором напряжения.

10. Индикатор с лампочкой. Если постепенно уменьшать напряжение, подводимое к лампочке, то она будет гореть все более тускло и по силе свечения можно ориентировочно судить о самой величине напряжения. (Для этого, конечно, нужна предварительная тренировка, посматривая на светящуюся лампочку, нужно измерять напряжение нормальным вольтметром.) Чтобы улучшить чувствительность индикатора, в него введен усилитель постоянного тока (Т-193) на транзисторах Т1, Т2. Благодаря усилителю лампочка, рассчитанная на 2,5 *В*, 120 *мА*, нормально горит при входном напряжении 0,5—1,2 *В* и токе 0,2—2 *мА*.

Чтобы расширить пределы измерений, на вход включен переменный резистор *R*2, он подводит к усилителю лишь часть измеряемого напряжения. При измерениях, естественно, необхо-

димо учитывать положение, в котором находится подвижный контакт *R*2. Для этого на ось резистора насажена стрелка, которая при повороте оси перемещается по шкале «множитель».

Перед началом измерений движок R2 обязательно нужно установить в крайнее нижнее положение и потом медленно поднимать его вверх по схеме до загорания лампочки. Забыв это правило, вы рискуете «пробить» входную цепь T1 самим измеряемым напряжением. Индикатором можно оценивать и переменные напряжения, умножая «показания прибора» на 2,— если, например, при переменном напряжении лампочка горит так же ярко, как при постоянном 1 *В*, то, значит, эффективное переменное напряжение (Т-69) примерно равно 2 *В*. Дело в том, что переменное напряжение детектируется во входной цепи T1: при положительных полупериодах транзистор закрыт. И в итоге лампочка получает лишь половину той энергии, которую дало бы переменное напряжение, если бы не было отсечки.

Добавив резистор R1 (показан пунктиром), можно легко оценивать индикатором напряжения в несколько десятков вольт.

11, 12. Вольтметр с лампочкой. Прибор этот, в отличие от предыдущих, назван вольтметром потому, что он позволяет оценивать напряжение уже довольно точно. В схему введен собранный на T1, T2 пороговый элемент — триггер Шмитта (Т-268), который срабатывает сам и открывает усилитель постоянного тока (T3, T4) только при строго определенном входном напряжении. Порог срабатывания определяется элементами схемы, он обычно лежит в пределах 0,8—1,5 *В*, точно величину «зажигающего напряжения» нужно проверить нормальным стрелочным вольтметром.

Входной делитель напряжения R1, R2, как и в предыдущем случае, расширяет пределы измерений вольтметра. Выключатель B1 — без фиксатора, он сделан из латунной или стальной пластинки, нажав на которую подают к схеме питание только на момент измерений.

ядра. А потом открыли еще одно фундаментальное свойство материи, еще один вид особых сил — их назвали слабыми, хотя действуют эти слабые силы во много раз сильнее, чем гравитация.

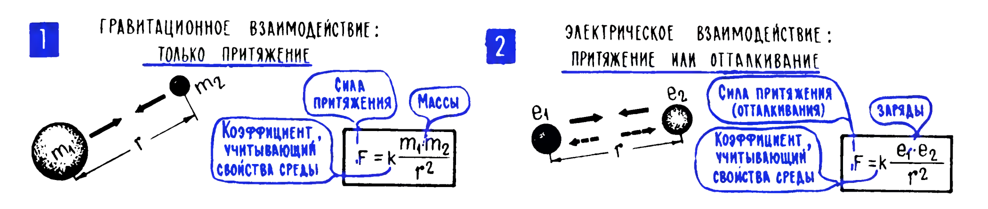
Вот так-то... Все было просто, была одна гравитация, а теперь — вон сколько открылось основных свойств материи... Мир намного сложней, чем кажется человеку, который, подобно своему доисторическому предку, видит лишь то, что видно с первого взгляда...

Нужно, правда, отметить, что современная физика пытается, в каком-то смысле, упростить открывавшуюся ей сложную картину мира: в современной физике господствует представление о единой природе, о «великом объединении» всех известных сил — сильных, слабых, электромагнитных, гравитационных. Могучие силы теории и эксперимента направлены на то, чтобы выявить эту единую природу. Причем на этом пути есть уже огромное достижение — экспериментально подкреплена теория, объединившая электромагнитные и слабые силы в единое, как его называют, электрослабое взаимодействие.

Но вернемся, однако, от этой высокой физики к делам простым и практически важным.

Электричество и гравитация в чем-то очень похожи, и работают они по очень похожим правилам. Гравитационное притяжение тем сильней, чем больше взаимодействующие массы; электрическое — чем больше заряды. А если раздвигать взаимодействующие тела, увеличить расстояние между ними, то обе силы — электричество и гравитация — резко ослабевают (Р-2).

Для того чтобы почувствовать реальность таких понятий, как «гравитация», «масса», «сила тяжести», не нужно раскрывать учебник физики. Достаточно положить его на ладонь. Мы непосредственно воспринимаем массу, ощущаем ее, чувствуем массу своего тела, массу покупки, которую несем из магазина, массу упавшего на ногу камня. Электрический заряд, конечно, на ощупь не почувствуешь, в реальность электричества можно поверить, лишь проделав специальные опыты. К тому же масса — понятие привычное, мы привыкали к нему миллионы лет. А с электричеством сталкиваемся несколько десятилетий. Но электричество сегодня уже играет в нашей жизни такую



Р-2

важную роль, что силой мысли, силой воображения нужно отвести ему достойное место в своей картине мира. В него нужно неотвратимо поверить, к нему нужно привыкнуть. Нужно привыкнуть...

Т-14. Электричество бывает двух видов, двух сортов: положительное и отрицательное. В результате гравитационного взаимодействия физические тела только притягиваются, пока еще никто не наблюдал антигравитации, то есть расталкивания двух масс. Отсюда можно сделать вывод, что в природе существует масса только одного сорта и что одинаковые массы взаимодействуют только так — они взаимно притягиваются. Одинаковость, однотипность масс установлена с колоссальной, просто-таки фантастической точностью — до миллионных долей миллионной доли процента. Но факт существования только одного сорта массы настолько важен, что физики планируют еще более точную его проверку. В отличие от массы, электричество бывает двух разных сортов, и в этом может убедиться каждый, проделав простейшие опыты с натиранием стеклянной и пластмассовой палочек. Поначалу может показаться, что электричество всегда действует одинаково (Р-1;1), но, передавая заряды с натертых палочек двум легким шарикам, можно убедиться, что в разных случаях они ведут себя по-разному (Р-1;2). Шарики, получившие электрический заряд разных сортов (разноименно заряженные), притягиваются, одинаковых сортов (одноименно заряженные) — отталкиваются. Если бы электричество было только одного сорта, то взаимодействие зарядов всегда было бы одинаковым: наэлектризованные предметы либо только притягивались бы, либо только отталкивались. Т-14

Два разных сорта электричества нужно было как-то назвать, скажем, «электричество сорта А» и «электричество сорта Б». Однако тому, кто давал имя этим сортам, понравились другие слова, и он назвал два разных сорта электричества положительным (сокращенное обозначение «+», «плюс») и отрицательным («—», «минус»). В данном случае привычный для нас смысл этих слов не имеет никакого значения, и ни в коем случае не нужно думать, что положительное электричество чем-то лучше отрицательного, как, скажем, положительный литературный герой или положительный пример.

Электрический заряд, который назвали положительным, появляется у натертого стекла, отрицательный — у натертой пластмассы. Попробуем провести такой мысленный эксперимент: будем ломать, распиливать, крошить наэлектризованные стекло и пластмассу, чтобы найти в них самые маленькие порции электрического заряда.

Т-15. Молекула — мельчайшая частица данного вещества. Мысленный эксперимент, кроме всего прочего, хорош тем, что любая трудная работа здесь идет легко и быстро. Вот и у нас уже появились сначала маленькие кусочки наэлектризованного вещества, затем очень маленькие и, наконец, самые маленькие частички стекла и пластмассы — их молекулы. Можно, конечно, и эти молекулы, например молекулы стекла, разделить на составные части, но то, что при этом получится, уже не будет стеклом. Здесь, по-видимому, уместно такое сравнение. Представьте себе, что вам нужно разделить на районы город. Самый маленький район, который может получиться,— это Т-15

один дом, молекула большого города. Можно, конечно, и дом разобрать по частям, но вряд ли какую-нибудь из строительных деталей можно будет назвать районом города.

Получив молекулы стекла и пластмассы, мы обнаружим, что некоторые из них наэлектризованы, то есть обладают электрическими свойствами, а другие не обладают. Остается предположить, что электрический заряд молекулы, ее электрические свойства связаны с какой-то еще более мелкой частицей, которая или входит или не входит в молекулу. И если входит, то делает ее наэлектризованной. Чтобы проверить эту гипотезу, продолжим свой мысленный эксперимент и разделим наэлектризованную молекулу на составные части.

Подобно тому как современный дом состоит из отдельных типовых блоков — перекрытий, лестничных пролетов, стеновых панелей,— подобно этому молекула любого вещества состоит из типовых блоков вещества — атомов. Всего сегодня известно 107 основных типов различных атомов, их называют химическими элементами. В молекулу могут входить самые разные атомы и в самой разной пропорции, они могут по-разному соединяться друг с другом, образовывать различные пространственные конструкции. И из небольшого сравнительно количества элементов (107 — это тоже немного, но реально в строительстве молекул используется еще меньше) образуются миллиарды самых разных веществ. Так же как из одинаковых строительных деталей строятся самые разнообразные здания. Разные сочетания разных атомов дают воздух и воду, мрамор и зеленый лист винограда, соль и сахар, стекло и пластмассу.

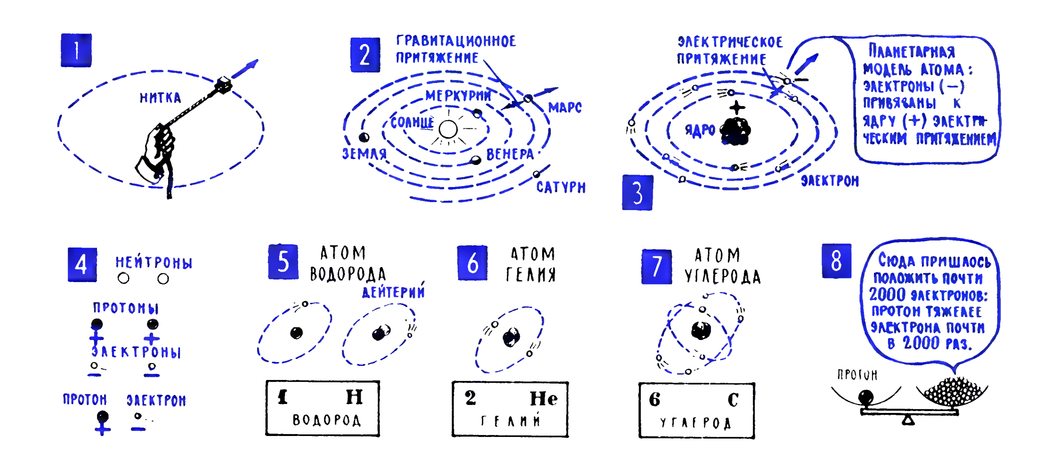
Продолжив свой мысленный эксперимент и разобрав на части молекулы подопытных веществ — стекла и пластмассы,— мы обнаружим, что и среди атомов попадаются, казалось бы, совершенно одинаковые «на вид», но при этом разные — наэлектризованные и ненаэлектризованные экземпляры, атомы с электрическим зарядом и без него, то есть электрически нейтральные. И после этого нам не останется ничего другого, как в поисках мельчайших частичек электрического заряда разобрать на части сам атом.

Т-16

Т-16. Планетарная модель атома — массивное ядро, вокруг которого вращаются электроны. Слово «атом» в переводе с греческого означает «неделимый». Это название появилось очень давно, когда о настоящих атомах, в современном понимании этого слова, никто и представления не имел. Просто считалось, что всякое вещество можно дробить на части до тех пор, пока не получатся мельчайшие невидимые пылинки, которые дальше уже разделить нельзя. Невозможно. Вот эти гипотетические, то есть предполагаемые неделимые, пылинки древние греки и называли атомами. Позднее название «атом» перешло к частицам уже не гипотетическим, а совершенно реальным, к тем самым основным блокам, из которых, как было установлено, строятся разные вещества. Еще каких-нибудь сто лет назад некоторые ученые считали эти блоки неделимыми и с чистой совестью называли их атомами. И только в начале нашего века было установлено, что, строго говоря, атом нельзя называть атомом, что атом не есть неделимый блок, он представляет собой сложную машину и состоит из множества разнообразных деталей.

Склеенная из пластмассы модель самолета или даже летающая его модель лишь в небольшой степени похожа на воздушный лайнер, берущий на борт сотни пассажиров. Но вместе с тем, рассматривая эти модели, можно узнать много важного о настоящих самолетах, об устройстве их основных деталей, о том, для чего эти детали нужны.

Одна из правдоподобных моделей атома похожа на нашу Солнечную си-



стему, и ее так и называют — «планетарная модель». В центре планетарной модели — основная деталь атома, его ядро, массивный шар, в котором сосредоточена почти вся атомная масса. Вокруг ядра вращаются маленькие и легкие шарики — электроны, чем-то напоминая планеты, вращающиеся вокруг Солнца (Р-3). Такая картина очень наглядна, ее легко себе представить, но, конечно же, планетарная модель — это упрощение, искажение истины (Т-8). Скажем, электроны — это совсем не шарики-пылинки, а некоторые во многом еще загадочные сгустки материи, которые ведут себя не только как частицы, но и как волны. И двигаются электроны не по спокойным круговым орбитам, как Венера или Земля вокруг Солнца. Электроны как бы размазаны в пространстве, распределены по сферам вокруг ядра, образуют вокруг него так называемые электронные оболочки. И само ядро — тоже не бильярдный шар. Это огромный (по атомным масштабам, разумеется) бурлящий котел, в котором непрерывно идут сложные превращения вещества и энергии, рождаются и умирают частицы.

И все же планетарная модель, несмотря на все ее недостатки, помогает просто и правильно объяснить многие важные процессы в атоме, многие особенности его конструкции. Именно поэтому свое путешествие в атомные глубины мы начнем с того, что построим упрощенную действующую — именно действующую — планетарную модель самого простого из известных атомов.

Привяжите нитку к спичечной коробке, раскрутите ее вокруг руки, и модель готова (Р-3;1). Ваша рука в ней играет роль атомного ядра, вращающаяся на нитке спичечная коробка — роль электрона. Но чью же роль в таком случае играет нитка? Ведь если нитка оборвется, то коробка под действием центробежной силы улетит в сторону, без нитки наш «атом» существовать не может. А в настоящем атоме нет никакой нитки, которая связывала бы ядро с электроном, и вместе с тем атом не разрушается, электрон с огромной скоростью (миллионы оборотов в секунду) вращается вокруг ядра и никуда не улетает. Что его держит? Какая сила привязывает, притягивает вращающийся электрон к ядру, не позволяет ему оторваться, улететь? Это делает электричество.

Т-17

Т-17. В атомных частицах — электроне и протоне — хранятся мельчайшие порции электрических зарядов. Точными опытами установлено, что любой электрон обладает некоторым отрицательным электрическим зарядом, то есть зарядом того же самого сорта, который был обнаружен у пластмассовой палочки. Электрический заряд есть обязательное, непременное свой-

ство электрона, такое же непременное, как масса. У всех электронов электрический заряд одинаков, так же, скажем, как одинакова масса у всех пятаков.

Теперь заглянем в ядро. Если не бояться упрощений, то можно считать, что ядро состоит из крепко склеенных частиц двух сортов — нейтронов и протонов. И те и другие — довольно тяжелые частицы, масса каждой из них почти в две тысячи раз больше массы электрона (Р-3;8): если электрон — копейка, то протон или нейтрон — двухкилограммовая гиря или двухлитровая банка, наполненная водой. Различаются ядерные частицы — нейтрон и протон — прежде всего тем, что нейтрон в электрическом отношении нейтрален (отсюда и его название), то есть никакими электрическими свойствами он не обладает, а у протона есть положительный электрический заряд.

Подведем некоторые итоги. Электрон на орбите, протон в ядре. Обе частицы от природы обладают электрическими свойствами. У электрона отрицательный электрический заряд, «минус», у протона — положительный, «плюс»...

Теперь уже, наверное, понятно, почему именно электрические силы в настоящем атоме делают то, что в нашей модели делала нитка,— притягивают вращающийся электрон к ядру. У протонов и у электронов разноименные электрические заряды, и силы их электрического взаимодействия стараются стянуть, сблизить эти частицы.

Еще одна интересная особенность: у электрона и у протона заряды хотя и разного сорта, но равны по величине, по своей, если можно так сказать, действующей силе. Массы у этих частиц разные — вспомните: копейка и двухлитровая банка воды,— а электрические заряды, электрические свойства одинаковые. Это тоже может быть доказано точными опытами. Если расположить на некотором расстоянии один от другого два протона и на таком же расстоянии один от другого два электрона, то электрические силы будут расталкивать протоны, (одноименные заряды отталкиваются) с такой же силой, как и электроны (Р-3;4).

Сравнительно недавно, в середине семидесятых годов, начала активно развиваться и получать экспериментальное подтверждение физическая теория, согласно которой такие частицы, как протон и нейтрон (к электрону это не относится), состоят из еще более «мелких деталей» — кварков. У кварков электрический заряд меньше, чем у протона, и может составлять $^{1}/_{3}$ или $^{2}/_{3}$ от той порции электричества, которую имеет протон. Причем заряд кварков может быть как положительным, так и отрицательным. Однако теория предсказывает, что сами кварки выделить из протонов или других частиц и получить в «чистом виде» невозможно, а может быть, даже принципиально невозможно. Придравшись к этому, мы будем считать, так же как считалось до появления кварковых теорий, что положительный заряд протона и отрицательный заряд электрона — это самые малые порции электричества, которые можно обнаружить в природе.

Т-18 **Т-18. Атомы разных химических элементов различаются числом протонов в ядре и электронов на орбитах.** Простейшая планетарная модель атома, построенная нами,— спичечная коробка, которая вращается вокруг руки,— это модель атома водорода. В его ядре — один протон (+), а на орбите — один электрон (—). Бывают атомы водорода, в которые входят еще и нейтроны (это так называемые изотопы — тяжелый водород, дейтерий, с одним нейтроном и сверхтяжелый водород, тритий, с двумя), но мы нейтроны во внимание принимать не будем. Потому, что это частицы нейтральные,

электрического заряда у них нет и на электрические свойства атомов они не влияют.

Следующий по сложности — атом гелия. В его ядре уже два протона, а на орбите — два электрона (нейтроны мы опять-таки не принимаем во внимание, хотя они есть и у гелия, и у всех более сложных атомов). У лития — три протона и три электрона, у бериллия — четыре и четыре, бора — пять и пять, углерода — шесть и шесть, азота — семь и семь и так далее.

Один химический элемент отличается от другого числом протонов в ядре. Всего в природе существует 92 разных сорта атомов (с числом протонов в ядре от 1 до 92), то есть 92 химических элемента, а с учетом искусственных, живущих очень короткое время (их получают на ускорителе и тут же «взвешивают», пока они еще живы) — 107. У разных элементов разная способность вступать в химические реакции, соединяться в молекулы. На это и обратили внимание химики еще в те времена, когда о строении атомов ничего не знали. Проанализировав химические свойства элементов, Дмитрий Иванович Менделеев расположил их в определенном порядке в таблице, которая всему миру известна как таблица Менделеева. А потом, спустя много лет, оказалось, что порядок следования элементов в менделеевской таблице определяется числом протонов в атомном ядре — чем больше протонов, тем более далекое место в этой таблице занимает элемент.

Электроны вращаются вокруг ядра по разным орбитам. Некоторые из орбит находятся поближе к ядру, другие подальше от него, третьи — совсем далеко. Все электронные орбиты сгруппировываются в несколько слоев, в несколько, как принято говорить, электронных оболочек. В первом, самом близком к ядру, слое только две орбиты, два вращающихся электрона (исключение — атом водорода, у которого всего один электрон), во втором слое может быть уже до восьми орбит, в третьем — до восемнадцати. (На всех наших рисунках электронная оболочка показана в виде одного круга или эллипса, по которому вращаются все электроны. Это, конечно, грубое упрощение, одно из тех, которым было посвящено предупреждение Т-8.) Особое значение имеет наружный слой электронных орбит, потому что именно с помощью своих внешних электронов атомы соединяются друг с другом, образуя молекулы. С внешними электронными оболочками атома нам еще предстоят интересные встречи, а сейчас несколько слов о другой важной особенности атомных конструкций.

Т-19. Положительный ион и отрицательный ион — атомы, у которых нарушено электрическое равновесие. Обнаружив в электронах и протонах мельчайшие порции электричества, мы можем теперь объяснить, как появляются электрические свойства у более крупных «предметов» — у атомов, у молекул. И у натертых палочек из пластмассы и стекла. В нормальном своем состоянии любой атом электрически нейтрален — число протонов в его ядре и число электронов на орбитах одинаково. А при этом и суммарный положительный заряд атома и его суммарный отрицательный заряд как бы нейтрализуют друг друга, и за пределами атома никакие его электрические свойства вообще не ощущаются. Вещество, состоящее из таких нейтральных атомов, само тоже нейтрально, электрического заряда у него нет (Р-4). Т-19

Если же каким-то способом удалить с атомной орбиты хотя бы один электрон, то общий заряд электронов будет уже меньше, чем общий заряд протонов. И такой атом в целом будет обладать положительным зарядом. А значит, будет обладать положительным зарядом и молекула, куда входит этот наэлектризованный атом, и в итоге вещество, в которое входит наэлектризованная молекула. У натертой стеклянной палочки положительный

заряд появляется именно потому, что при натирании мы, грубо говоря, выдираем электроны из многих атомов, расположенных в поверхностном слое стекла.

Можно при натирании каким-то способом втолкнуть в атом лишний электрон, у некоторых веществ ему найдется местечко на орбите. У такого атома электронов окажется больше, чем протонов в ядре, а значит, появится отрицательный заряд. В итоге отрицательный заряд будет у молекулы, включившей в себя этот атом, и у вещества, куда входит наэлектризованная молекула. Именно так можно объяснить появление отрицательного электрического заряда у натертой пластмассовой палочки.

В заключение остается назвать имена, которые присваивают атомам в зависимости от их электрического состояния.

Нормальный атом, такой, у которого число протонов и число электронов одинаково и который поэтому во внешнем мире никак не проявляет своих электрических свойств, называют нейтральным атомом. Атом с недостающими электронами (или, другими словами, с избытком протонов) называют положительным ионом — в целом такой атом ведет себя как частица, имеющая чистый положительный заряд. Атом с избытком электронов ведет себя как частица с чистым отрицательным зарядом, и такой атом называют отрицательным ионом.

Т-20

Т-20. Электрические силы могли бы работать в машинах. С давних пор люди стремятся умножить силу своих мускулов, выполнять работу бóльшую, чем могли бы по своим природным способностям. Стремятся они к этому не просто так, не ради спортивного интереса, а для того, чтобы улучшить свои жизненные условия, чтобы жить лучше, чем предначертано дикой природой. В разные времена человек приспособил себе в помощники домашних животных, энергию падающей воды, ветра, расширяющегося пара, взрывающихся бензиновых паров. И конечно же, не мог он оставить в бездействии такую прекрасную работающую силу, как электричество.

Уже простейшие опыты с натиранием стекла и пластмассы говорят о том, что электричество может работать, ну скажем, перемещать какие-то грузы. Или приводить в движение машины, подобно тому, например, как гравитационные силы вращают жернова водяной мельницы (работает падающая, притягиваемая к земле вода). В принципе работоспособность электричества огромна, значительно больше, чем работоспособность гравитации. Если стеклянную и пластмассовую палочки размером с карандаш расположить на расстоянии метра, то под действием гравитационных сил они будут притягиваться одна к другой, как и любые две массы. Но сила этого притяжения будет в миллиарды миллиардов раз меньше, чем сила

Р-4

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ: В ОДНОМ СЛУЧАЕ НЕКОТОРЫЕ НЕЙТРАЛЬНЫЕ АТОМЫ ВЕЩЕСТВА ТЕРЯЮТ ЭЛЕКТРОНЫ И ПРЕВРАЩАЮТСЯ В ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ (СТЕКЛО), В ДРУГОМ — В ВЕЩЕСТВО „ВТАЛКИВАЮТСЯ" ЛИШНИЕ ЭЛЕКТРОНЫ (ПЛАСТМАССА)

СТЕКЛО ПЛАСТМАССА

СУММАРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД	НЕЙТРАЛЬНЫЕ АТОМЫ			ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ			ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ		
ЯДРА	+1	+6	+12	+1	+6	+12	+1	+8	+12
ЭЛЕКТРОНОВ	−1	−6	−12	0	−4	−8	−2	−10	−15
АТОМА	0	0	0	+1	+2	+4	−1	−2	−3

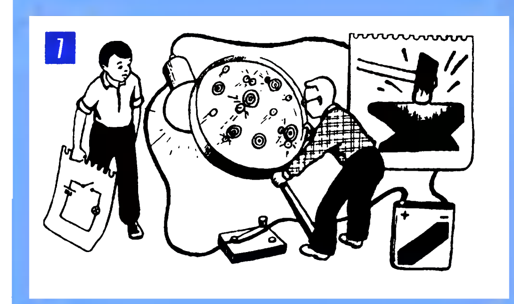
самого чахлого комарика. А вот если наэлектризовать эти палочки-карандаши, уменьшить на один процент число электронов в стекле и увеличить на один процент число электронов в пластмассе — обратите внимание: всего на один процент! — то палочки будут притягиваться с такой силой, что смогут сдвинуть с места железнодорожный состав из многих миллиардов вагонов!

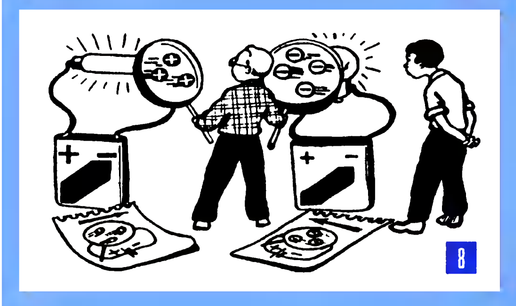
Почему же в наших опытах электрических сил едва хватало на то, чтобы подтянуть вверх легкие бумажки? Только потому, что натиранием мы нарушили электрическое равновесие у очень небольшого числа атомов.

И все же в использовании электрической энергии техника не пошла по пути машин с большими, сильно наэлектризованными деталями. В современных электрических машинах и установках всех типов работают детали, наэлектризованные самой природой, — мельчайшие частицы вещества, с которыми мы встретились на нашей экскурсии в мир атомов и молекул.





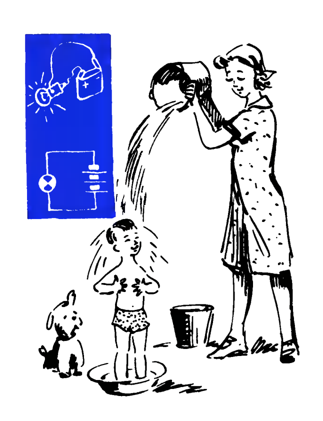






ГЛАВА 3

ЗАВОД, ГДЕ РАБОТАЮТ ЭЛЕКТРОНЫ



Т-21

Т-21. В некоторых веществах электроны и ионы могут находиться в свободном состоянии. Есть хорошая французская поговорка: «Для того чтобы сделать рагу из зайца, нужно, как минимум, иметь зайца». По аналогии можно сказать: для того чтобы заставить ионы и электроны работать, в электрических машинах, нужно, как минимум, иметь ионы и электроны. Причем иметь их в свободном состоянии, чтобы можно было эти микроскопические детали перемещать, двигать и тем самым заставить их выполнять какую-то работу.

Повседневный опыт приучил нас, что твердые тела и жидкости имеют плотную, непрерывную структуру. А вместе с тем структура у них, если можно так сказать, ажурная. Любое вещество — вода, бумага, мрамор, сталь — больше напоминает редкую волейбольную сетку, чем плотный клубок ниток. Мы, конечно, не можем увидеть эту ажурность, сетчатость, но точными физическими исследованиями установлено, что в атоме сгустки вещества — атомные ядра и электроны — находятся друг от друга на расстояниях, во много раз превышающих размеры этих частиц. Так, скажем, если предположить, что атомное ядро имеет размеры футбольного мяча, то для соблюдения истинных пропорций нужно представить себе, как вокруг этого мяча на расстояниях в сотни и тысячи метров (!) вращаются электроны размером с горошину. А все остальное — пустота. Ну а расстояния между соседними атомами в этом масштабе совсем уже огромны — это десятки и сотни километров!

Ажурные атомные конструкции, огромные пространства между атомами — вот первая особенность строения вещества, которую важно знать конструкторам электрических заводов, где будут работать электроны. А вот вторая.

В любом веществе всегда найдется некоторое количество атомов, потерявших электроны со своих внешних орбит. В твердом теле атомы как бы закреплены в определенных точках пространства, связаны друг с другом в прочный каркас. В жидкостях атомы связаны слабее, могут смещаться, именно поэтому жидкость «мягкая», она легко изгибается, течет. Во всех случаях атомы совершают какие-то небольшие движения, колеблются, пошатываются, причем тем сильней, чем выше температура вещества. Только при абсолютном нуле, при температуре 0 градусов по шкале Кельвина (0 *K*; минус 273,16 градуса по шкале Цельсия; получить такую температуру пока никому не удалось, хотя подошли к ней очень близко — остались миллионные доли градуса), собственные хаотические движения атомов затихают. В процессе этих хаотических, как их называют, тепловых колебаний

атомы, грубо говоря, сбрасывают некоторые внешние электроны, те, что сильно удалены от ядра и слабее других привязаны к нему электрическими силами. Вырвавшиеся из атомов электроны беспорядочно слоняются (Т-8) в межатомном пространстве, они свободны, и эти свободные электроны вполне можно было бы использовать в качестве движущихся деталей электрических машин (Р-5; 3).

Запомним, в твердом веществе могут быть свободные электроны. А теперь перейдем к жидкостям и газам.

Атом, потерявший один или несколько электронов,— это положительный ион. В твердых телах такие положительные ионы неподвижны, в жидкостях и особенно в газах они могут двигаться. Кроме того, в жидкостях и газах могут появиться подвижные отрицательные ионы — атомы, в которые попал лишний электрон. Таким образом, в жидкостях и газах может быть сразу три типа работающих деталей — свободные положительные ионы, свободные отрицательные ионы и, как всегда, еще свободные электроны (Р-5; 4).

Итак, в веществе существуют свободные электрические заряды. И есть свободное пространство, где они могут двигаться. Теперь попробуем выяснить, какую пользу можно получить от такого движения зарядов, какую работу эти заряды могут выполнять.

Т-22. Движущиеся свободные электроны (ионы) могут создавать тепло и свет, участвовать в транспортировке вещества. Если бить молотом по куску железа, то оба они сильно нагреются: энергия движущегося молота в процессе удара превращается в тепло. По той же причине быстрый поток песчинок, выбрасываемый пескоструйным аппаратом, попав на гранитную плиту, не только очищает ее, но еще и нагревает. Т-22

Если в каком-либо веществе создать поток электронов или свободных ионов, то, сталкиваясь с атомами вещества и друг с другом, эти движущиеся частицы будут нагревать вещество — удар всегда удар. Тепловое действие, нагревание — первая профессия движущихся зарядов (Р-6; 1, 2).

Вторая их профессия — излучение света. Если хорошо разогнать свободные заряды, то они будут ударять по атомам вещества с такой силой, что те начнут светиться, как, скажем, светится сильно нагретый кусок железа.

И еще одна профессия движущихся зарядов. Создать поток ионов — это означает создать поток вещества, ионы — это ведь тоже атомы, а тот факт, что у них недостает электронов или есть лишние электроны, позволяет двигать их электрическими силами, перебрасывать из одного района в другой. Так, например, перебрасывая из растворов на поверхность какого-либо предмета ионы меди, никеля, хрома, серебра, золота, наносят на этот предмет тонкие металлические покрытия (Р-6; 3). Или наоборот — если создать поток ионов из какого-либо вещества в раствор, можно очистить это вещество от тех или иных примесей.

Мы пока еще, к сожалению, не готовы к рассказу о главной профессии свободных электронов и ионов — они еще умеют выполнять механическую работу, вращать диск электрофона, двигать диффузор громкоговорителя, тянуть электропоезда. Но даже известная уже нам продукция движущихся зарядов — тепло, свет, транспорт вещества — стоит того, чтобы подробнее познакомиться с машинами и установками, где эти движущиеся заряды работают.

Т-23. Проводники, полупроводники, изоляторы — вещества с различным содержанием свободных электрических зарядов. Количество свободных зарядов в каком-либо веществе зависит от многих факторов. Например, от Т-23

чистоты вещества — бывает, что небольшие количества примеси способствуют или, наоборот, препятствуют появлению свободных электронов или ионов. У некоторых веществ число свободных электронов можно увеличить, если облучать эти вещества светом — свет просто выбивает электроны из атомов. У других веществ такой же эффект наблюдается под действием рентгеновского излучения. Количество свободных зарядов зависит также от температуры — чем она выше, тем интенсивнее собственные колебания атомов и молекул, тем больше слетает с них электронов. И конечно же, число свободных зарядов в веществе зависит от того, какое это вещество, насколько крепко в его атомах внешние электроны привязаны к ядру, насколько легко им вырваться на свободу. И оттого, насколько велики атомы, насколько густо они расположены и долго ли сможет свободный электрон бродить в межатомном пространстве, не подвергаясь опасности наткнуться на свободное место в атоме и вновь очутиться на орбите (Т-8).

Специалисты по электричеству привыкли делить все вещества на три основные группы — проводники, полупроводники и диэлектрики (изоляторы). К проводникам относятся вещества, в которых свободных зарядов очень много. Полупроводники — это те вещества, в которых свободных зарядов немного, но все же они есть. В диэлектриках свободных зарядов очень мало, почти нет (Р-7).

В диэлектриках все электроны крепко связаны с ядром и редко какой-то из них может вырваться на свободу. Нужно пересмотреть миллиарды миллиардов атомов диэлектрика, чтобы отыскать среди них один положительный ион, один атом, упустивший какой-нибудь свой электрон.

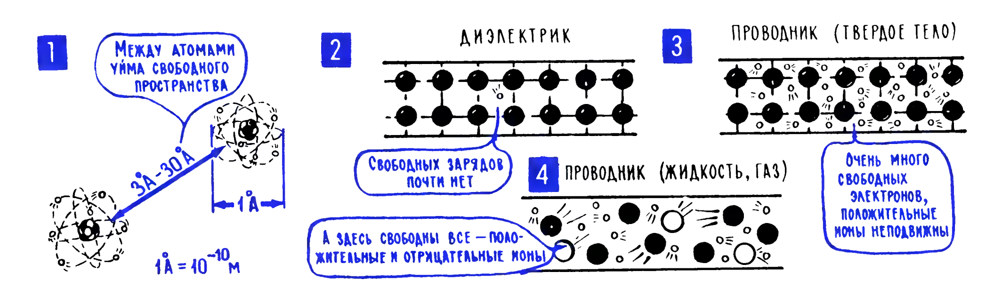
Теперь о проводниках.

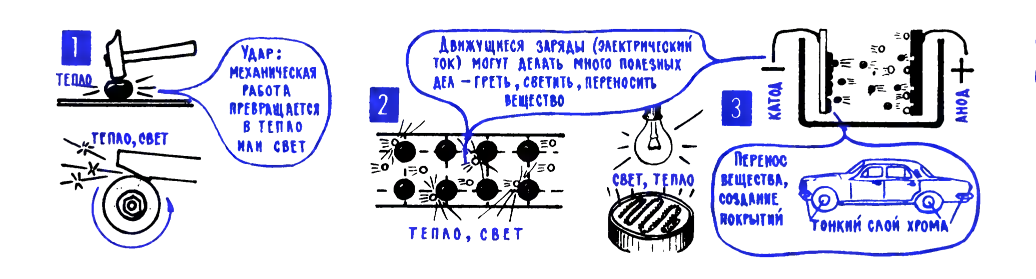
К проводникам относятся все металлы. У них внешние электроны связаны с ядром очень слабо и почти каждый атом превратился в положительный ион, выпустил в межатомное пространство один или даже несколько электронов. В металлах так много свободных электронов, что по отношению к ним применяют выражение «электронный газ» или «электронная пыль».

Проводниками могут быть жидкости и газы. «Могут быть» в данном случае нужно понимать так: количество свободных зарядов в жидкости (или в газе) зависит от того, какие вещества в ней растворены, какие химические процессы происходят. Например, дистиллированная вода — это изолятор, свободных зарядов в ней очень мало. Но стоит бросить в воду щепотку соли, как она становится проводником — соль растворяется, образует в воде большое количество свободных положительных и отрицательных ионов.

О полупроводниках пока умолчим. Это вещество со сложным характером. Придет время, и мы поговорим о них особо.

Не требуется, по-видимому, пояснять, что полноводная река работает лучше, чем тонкая струйка воды из водопроводного крана. Вот так большое





число движущихся свободных зарядов при прочих равных условиях может выполнить бо́льшую работу, чем малое их количество. И если мы хотим увидеть от движущихся зарядов настоящую работу, нужно привлечь к делу как можно больше этих зарядов. А значит, нужно организовывать движение свободных зарядов не в диэлектрике, где их очень мало, а в проводнике, где зарядов-работников огромное количество.

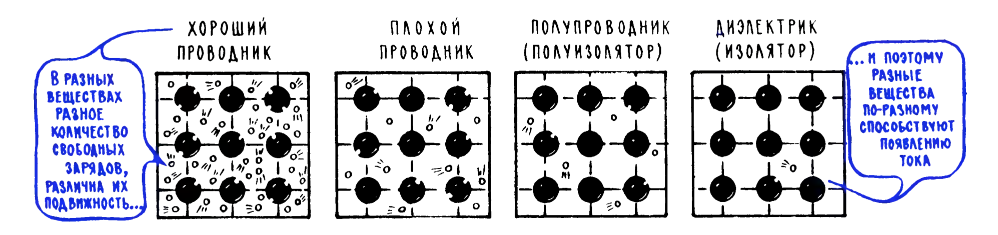
Т-24. Генератор и нагрузка — основные элементы электрической цепи. Завод, где работают свободные электроны или ионы, получил название «электрическая цепь». Слово «цепь» в этом названии появилось потому, что заряды, как правило, последовательно, поочередно проходят по нескольким цехам, нескольким участкам, как бы по звеньям цепочки. Т-24

Какой бы сложной ни была электрическая цепь, в ней обязательно есть два основных участка, два главных цеха. В одном из них свободные заряды получают энергию. Это генератор. На другом участке, в другом главном цехе заряды отдают полученную энергию. Этот цех называют нагрузкой — он нагружает генератор, отбирает у него энергию, использует ее для выполнения полезной работы. Так, например, в нагрузке свободные заряды — электроны и ионы,— которые генератор заставил двигаться, сталкиваются с «местными» атомами, ударяют по ним, и в результате этих ударов в нагрузке выделяется тепло или свет (Р-8).

Генератор и нагрузка — эти элементы входят в любую схему использования энергии, в любое устройство, предназначенное для выполнения каких-либо работ. Возьмем, к примеру, водяную мельницу. Могучие силы природы — солнце и ветер — испаряют воду с поверхности земли, собирают ее в прекрасные белые облака и выплескивают обратно на землю, в том числе на горные вершины. С гор вода течет вниз, сливается в русла быстрых рек. Так работает генератор, он создает потоки воды, снабжает их энергией. А мельничное колесо — нагрузка — эту энергию отбирает. Падающая вода вращает колесо, оно приводит в движение жернова, и они выполняют нужную работу — перемалывают зерно.

Две наэлектризованные палочки — стеклянная (+) и пластмассовая (—) — вот уже готов простейший генератор, который мог бы двигать свободные электрические заряды, заставляя их работать (вы уже, очевидно, обратили внимание — зарядами мы для краткости называем свободные электроны и ионы, наши микроскопические наэлектризованные детали). Стоит только соединить эти палочки проводником, как в нем сразу же появится электрический поток (принято говорить ток, очевидно, тоже для краткости) — начнется упорядоченное движение свободных зарядов с одной палочки на другую. Проводник в этой системе играет роль нагрузки: проходя по нему, заряды работают, выделяют, вырабатывают какое-то количество тепла. А это значит, что наша цель достигнута, завод, где работают движущиеся заряды, построен.

Р-7



Давайте для определенности предположим, что к наэлектризованным палочкам (генератор) подключен именно металлический проводник (нагрузка), и попробуем более подробно рассмотреть, как работает наш завод и какими показателями нужно оценивать его работу.

Т-25 **Т-25. Наряду с веществом существует и такая форма материи, как поле.** Этот небольшой раздел, пожалуй, самый сложный во всем нашем повествовании, и в значительной степени из-за него это повествование пришлось начинать издалека. С того, что человек нелегко и непросто постигал устройство мира. Что мир устроен намного сложней, чем кажется с первого взгляда. И что нужно уметь считаться с реальностью, какой бы непривычной она ни казалась, уметь подчиняться неотвратимым аргументам опыта. Уметь ограждать себя от неверия и внутренних протестов спокойной формулой — «Так устроен этот мир...»

Как конкретно, через каких посредников взаимодействуют электрические заряды? Как наэлектризованная палочка тянет клочки бумаги? Ведь они находятся на значительном расстоянии, непосредственно не соприкасаются... Не может же палочка действовать на бумажки через Ничто, обязательно должно существовать Нечто, через которое один заряд тянет к себе другой...

Проще всего было бы предположить, что заряды как-то взаимодействуют через вещество, которое находится между ними, в нашем примере через воздух. Например, тянут или толкают друг друга через молекулы, атомы, электроны или еще какие-нибудь частицы, подобно тому, как паровоз передает свою тягу последнему вагону через все промежуточные вагоны. Но достаточно перенести эксперимент в безвоздушное пространство, и эта гипотеза безнадежно отпадает — в вакууме, в пустоте, где никакого промежуточного вещества нет, палочка притягивает клочки бумаги с такой же силой, как и в воздухе. А это значит...

А это значит, что, кроме реальности «вещество», к которому мы привыкали миллионы лет и прекрасно знаем все его свойства и повадки — массу, объем, геометрические формы, гравитационное притяжение, движение по инерции, плотность, температуру,— так вот, кроме вещества, кроме этой привычной реальности, есть еще совершенно иная, бестелесная, размазанная по пространству реальность, которой не заготовлено место в нашем сознании. Этой реальности, этой особой форме материи дано название «поле».

Поля бывают разные, разных, если можно так сказать, сортов. Вокруг электрического заряда существует электрическое поле, вокруг магнитов, с которыми мы начнем подробно знакомиться очень скоро, существуют магнитные поля, каждую массу — протон, яблоко, планету — окружает гравитационное поле. И именно через поля происходят все взаимодействия на расстоянии — взаимное притяжение масс, взаимодействие магнитов, притяжение или отталкивание электрических зарядов (Р-9, Р-10).

Т-26 **Т-26. В замкнутой электрической цепи можно создать непрерывный ток, упорядоченное движение свободных зарядов.** Как только мы подключим

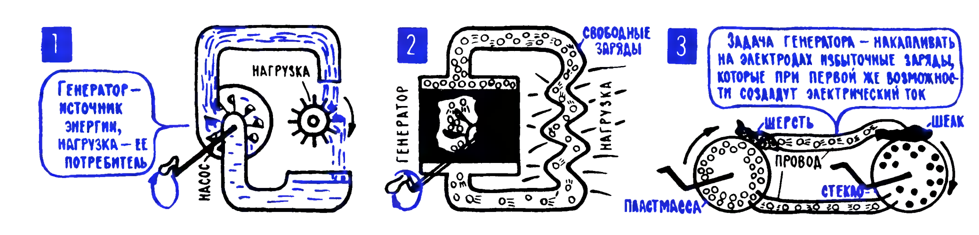
к наэлектризованным палочкам (генератор) металлический проводник (нагрузку), в этом проводнике сразу же начнется упорядоченное движение свободных электронов. Слово «упорядоченное» в данном случае должно подчеркнуть, что речь идет не просто о движении электронов, а о том движении, которое возникает под действием внешних электрических сил, под действием электрических полей наэлектризованных палочек. Свободные электроны никогда не стоят на месте, они, как всегда, непрерывно совершают свои хаотические рывки в разные стороны, рывки тем более энергичные, чем выше температура проводника. Но под действием электрических сил электроны, кроме этих хаотических движений, непрерывно смещаются в одном определенном направлении, и именно это смещение, именно это упорядоченное движение в одну сторону как раз и называется электрическим током.

Нетрудно сообразить, куда будут двигаться свободные электроны в нашем проводнике — пластмассовая палочка своим отрицательным зарядом (—) будет отталкивать электроны (—), и они будут уходить от нее, стеклянная палочка своим положительным зарядом (+) будет тянуть к себе электроны (—), и они будут двигаться к ней. Таким образом поток электронов в проводнике будет направлен от того места, где их слишком много (—), к месту, где их не хватает (+). Короче — поток электронов будет двигаться от пластмассовой палочки к стеклянной, от «минуса» к «плюсу».

Но вот проходит некоторое время, и ток в проводнике прекращается. Избыточные, лишние электроны, которые как раз и создавали отрицательный заряд пластмассовой палочки, уйдут из нее в проводник, а из него свободные электроны в свою очередь уйдут в стеклянную палочку и займут пустовавшие там места — положительный заряд стекла появлялся именно из-за нехватки электронов. В итоге все атомы пластмассы, отдав лишние электроны, станут нейтральными, все положительные ионы стекла, получив недостающие электроны, станут нейтральными, и ток в проводнике прекратится. Произойдет это все практически мгновенно, и ток в нагрузке ничего наработать не успеет.

Можно придумать несколько типов электрических генераторов, которые, в отличие от наших палочек, могли бы длительное время поддерживать ток в нагрузке. В самом простом из них можно производить непрерывную электризацию двух дисков — стеклянного и пластмассового, прижав к ним для этого куски шерсти и шелка (Р-8; 3).

Теперь, как только с пластмассового диска в проводниках начнут уходить избыточные электроны и отрицательный заряд диска начнет уменьшаться, прижатый кусок шерсти добавит в пластмассу еще какое-то количество электронов — в этом-то и состоит процесс электризации пластмассы, при натирании в нее попадают лишние электроны, выдираемые из атомов шерсти. Точно так же, когда из проводника начнут поступать электроны в стеклянный диск, прижатый к нему кусок шерсти будет эти электроны убирать — электризация стекла состоит именно в том, что при натирании из



Р-8

его атомов вырываются электроны и переходят на натирающий предмет, то есть на кусок шерсти (шелка). Казалось бы, что благодаря всему этому избыток и недостаток электронов на дисках генератора будет все время поддерживаться и в проводнике, подключенном к такому генератору, будет существовать непрерывный, непрекращающийся ток.

Но это только «казалось бы...». Между электрическими зарядами в наэлектризованных дисках, в шелке, в шерсти и свободными электронами, бегающими по проводнику, существуют довольно сложные отношения. Они приводят к странным на первый взгляд результатам, которые, однако, всегда объяснимы и справедливы. В электрической цепи неукоснительно действуют железные законы хозрасчета, и всякое событие происходит или не происходит в зависимости от соотношения многих разных сил, выступающих «за» или «против».

Мы подключили к нашему дисковому генератору металлический проводник-нагрузку, завращали диск, и по проводнику пошел ток. Однако, проникнув мысленным взором в проводник, мы увидим, что интенсивность упорядоченного движения электронов в нем постепенно снижается и через какое-то время тока уже вообще нет. Почему? А потому, что через некоторое время на куске шелка, собирающем электроны со стеклянного диска, скопилось так много этих электронов, что ни одной новой частицы шелк принять уже не может. Это легко понять — по мере накопления электронов

К-7

К-7. ОДНОДИАПАЗОННЫЙ ПРИЕМНИК ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

В его схему 2—V—2 (Т-216) входят два каскада усиления высокой частоты (Т1, Т2), детектор (Д1, Д2) и двухкаскадный усилитель низкой частоты (Т3, Т4, Т5). Вполне возможна замена двух основных блоков — высокочастотного (включая детектор) и низкочастотного. В частности, к высокочастотному блоку приемника К-7 можно для начала пристроить более простой низкочастотный усилитель К-1;1 или бестрансформаторный усилитель НЧ из приемника К-8; усилитель НЧ приемника К-7 можно в свою очередь использовать в супергетеродине К-8 или с простейшими высокочастотными блоками К-9;1,2,3. Точки «стыковки» (в данном случае «—», «вход-выход», «0»), как всегда, отмечены маленькими треугольниками (Т-2).

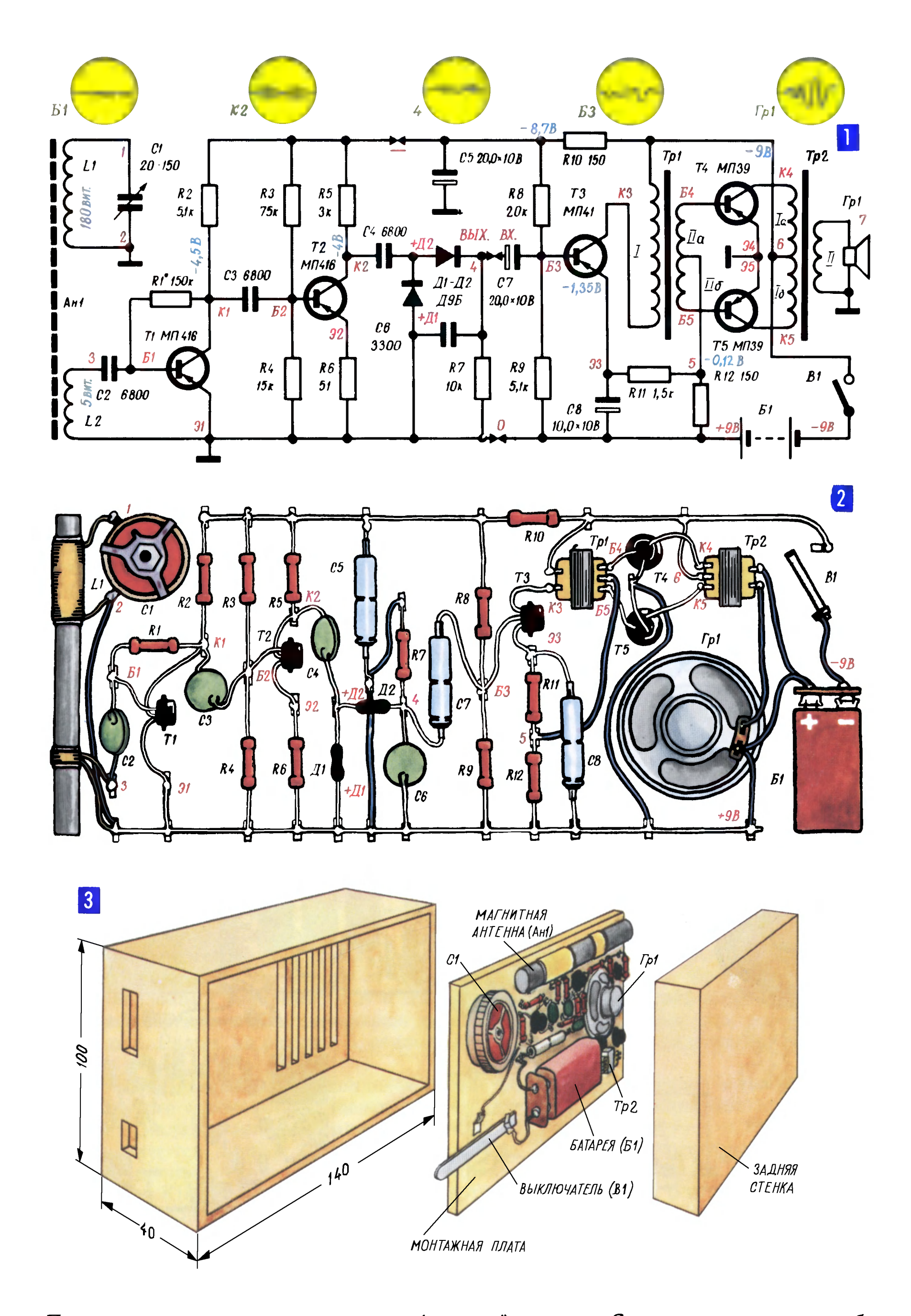
Первый каскад приемника (Т1) через катушку связи L2 связан с магнитной антенной L1, которая вместе с конденсатором настройки С1 образует входной контур. В зависимости от того, какие станции лучше слышны в том или ином районе, приемник можно сделать средневолновым или длинноволновым (С-18). В данном случае С1 — керамический КПЕ (конденсатор переменной емкости), но, конечно, можно применить любой другой конденсатор. Соотношение его максимальной и минимальной емкости определит перекрываемый диапазон (Т-210).

В обоих каскадах усилителя ВЧ нагрузкой служат резисторы (R2 и R5), на транзистор Т1 смещение задается резистором R1, на транзистор Т2 — делителем R3, R4. Резистор термостабилизации R6 не шунтирован конденсатором и поэтому служит элементом обратной связи. Это несколько снижает усиление, но повышает устойчивость работы.

На детектор высокочастотный сигнал подается с нагрузки Т2 через С4, нагрузка детектора R7; высокочастотный фильтр С6.

Усилитель НЧ собран по традиционной трансформаторной схеме (Т-194, Т-196), смещение на Т1 подается с делителя R8, R9, в эмиттерную цепь включено сопротивление системы термостабилизации R11 + R12, шунтированное конденсатором С8. Небольшое напряжение — 0,12 *Вс* R12 подается на базы двухтактного выходного каскада в качестве небольшого отпирающего смещения — выходной каскад работает в классе АВ (Т-195).

В усилителе НЧ использованы трансформаторы от приемника «Селга», их данные: трансформатор Тр1 — сердечник сечением примерно 0,7 *см*^{2}, обмотка I—1600 витков провода ПЭ—0,08, обмотка II—550+550 витков провода ПЭ — 0,08; трансформатор Тр2 — сердечник сечением примерно 0,7 *см*^{2}, обмотка I — 225+225 витков провода ПЭ — 0,15; обмотка II — 66 витков провода ПЭ — 0,35. Возможно использование и любых других трансформаторов с примерно такими же данными. Выходной трансформатор Тр2 рассчитан на громкоговоритель с сопротивлением звуковой катушки 10 *Ом,* например 0,1 ГД — 3М. Приемник удовлетворительно, хотя и тихо, работает при напряжении батареи Б1 до 4—6 *В*.



Приемник можно смонтировать на фанерной панели. Сначала сравнительно большой, размером примерно 15×25 *см*, а затем после предварительного налаживания перенести на панель меньшего размера. Чтобы облегчить переход от принципиальной схемы 1 к монтажной 2, на них помечены одинаковые точки буквами и цифрами (Б1 — база первого транзистора, Б5 — база пятого транзистора, Э3 — эмиттер третьего транзистора, 1, 2, 3 — промежуточные монтажные точки и т. д.) или цифрами. Корпус для приемника можно изготовить из фанеры или из картона, оклеив его тканью и окрасив эмалью.



К-8. ТРЕХДИАПАЗОННЫЙ СУПЕРГЕТЕРОДИН

Приемник рассчитан на внешнюю антенну (провод два-три метра, хорошо, если будет и заземление), однако на СВ и ДВ диапазонах вполне можно включить и магнитную антенну, такую же, как и в предыдущем приемнике (К-7). Связь с антенной — емкостная (С1), но, если в переключателе есть еще одна секция, можно сделать и индуктивную связь — при этом чувствительность будет несколько более равномерной в пределах диапазона. В катушке связи с антенной должно быть примерно в пять — восемь раз больше витков, чем в контурной; располагают катушки на общем каркасе (К-4,8,9,10).

Из входного контура (катушки L1, L3, L5) принятый сигнал подводится к преобразователю частоты (T1) через катушки связи (L2, L4, L6). Сюда же попадает и сигнал гетеродина (T2). Гетеродин собран по схеме с трансформаторной обратной связью. Сам контур (катушки L7, L10, L13) включен в коллекторную цепь последовательно, через него попадает питание на коллектор. Катушки обратной связи (L8, L11, L14) подключены к базе через разделительные конденсаторы C8, C9, C18. Добиваясь устойчивой генерации в пределах диапазона, иногда приходится резко, в несколько раз, менять их емкость, чаще уменьшая ее. На одном каркасе с контурными катушками находятся еще и катушки связи с преобразователем частоты (L9, L12, L15), каждая из них соединена последовательно с соответствующей катушкой связи входного контура (L2, L4, L6) и вместе с ней подключается (секция переключателя П1б) к базе преобразователя (T1). Во всех входных и гетеродинных контурах имеются подстроечные конденсаторы, а в контурах гетеродина еще и сопрягающие (C14, C15, C16), через один из сопрягающих конденсаторов в контур гетеродина включается секция конденсатора настройки (C11, подключается секцией П1В переключателя диапазонов). К части витков контура гетеродина подключен конденсатор растяжки (C12), который позволяет плавно настроиться на станцию в любом участке КВ диапазона. Остальные детали гетеродина и преобразователя — это типовые элементы транзисторного усилителя: делители, устанавливающие начальное смещение на базу (R1, R2 и R5, R6), эмиттерные цепочки термостабилизации (R3, C17 и R7, C27), развязывающие фильтры в коллекторной цепи (R4, C20 и R8, C23, C24).

В коллекторную цепь преобразователя частоты (T1) включен трехконтурный фильтр промежуточной частоты, каждый из его контуров в отдельном экране, связь между контурами — емкостная (C21, C25). С этого фильтра (с части катушки L18, отвод примерно от 1/10 части витков: у катушек L16 и L19 отвод от середины) сигнал попадает на усилитель промежуточной частоты. В его первом каскаде (T3) коллекторной нагрузкой служит резистор (R15), а во втором (T4) — колебательный контур (L19, C37), настроенный на промежуточную частоту. Из этого контура сигнал ПЧ через катушку связи (L20) попадает на детектор (Д1), а с него — на вход усилителя НЧ. Нагрузка детектора (R9) служит регулятором громкости.

В двухтактном бестрансформаторном выходном каскаде усилителя НЧ работают транзисторы разной проводимости (T7, T8), оба они включены по схеме ОК, отличительная черта которой — низкое выходное сопротивление (Т-190). Именно поэтому низкоомный громкоговоритель (сопротивление звуковой катушки $10 \div 20$ *Ом*) можно включать без выходного трансформатора. Смещение на базы выходных транзисторов подается с делителя, в который входят резисторы R24 (на него «минус» поступает через звуковую катушку громкоговорителя), R25 и коллекторная цепь транзистора T6. Таким образом, режим выходного каскада по постоянному току (прежде всего его симметрия, равенство питающих напряжений на T7 и T8) зависит от режима T6, а он определяется делителем R20, R21. Вот почему именно подбором одного из этих резисторов устанавливают режим выходного каскада при налаживании усилителя. Подобная связь каскадов по постоянному току характерна и для других бестрансформаторных усилителей (например, К-13). Первый каскад усилителя НЧ (T4) собран по обычной схеме с простейшей термостабилизацией (R14). В приемнике может быть использован и другой усилитель НЧ, например с трансформаторами (К-1; К-7).

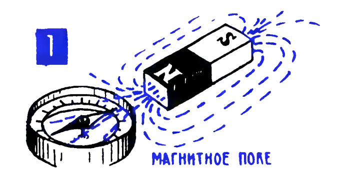
В этом супергетеродине используются самодельные катушки (К-4, С-18), но, разумеется, возможно применение катушек и от промышленных приемников. Можно также ограничиться двумя диапазонами (например, СВ и ДВ или СВ и КВ), применив широко распространенный движковый переключатель диапазонов от карманных приемников; как это сделать, показано на рисунке 4. Рядом, на рисунке 5, показан возможный вариант размещения деталей на фанерной плате.

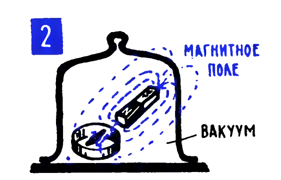
В приемнике использован конденсатор настройки от «Спидолы», возможно использование любого другого сдвоенного конденсатора, но при этом может понадобиться изменить данные катушек. О налаживании приемника см. Т-295—Т-300.

Если имеются детали для двухдиапазонного ДВ, СВ супергетеродина, например набор деталей от промышленного приемника, то можно ввести КВ диапазон, заменив переключатель П1 и добавив КВ катушки или собрав конвертор по схеме К-9;6. В этой схеме верхний транзистор — преобразователь частоты, нижний (того же типа) — гетеродин. Для диапазона 25 м данные входных катушек L1, L2 и гетеродинных L4, L5 примерно такие же (соответственно), как L5, L6 и L13, L15 в супергетеродине К-8. Дроссель L намотан на небольшом ферритовом кольце или стержне и содержит 40—60 витков любого тонкого провода. Можно сделать конвертор на несколько КВ диапазонов, переключая конденсаторы в его контурах (К-9; 7, 8).

на шелке, его отрицательный заряд (—) увеличивается и каждому новому электрону все труднее преодолеть отталкивающее действие этого заряда, выйти из стекла в шелковую тряпку. Точно так же, по мере выдирания электронов из куска шерсти, примыкающего к пластмассе, у этого куска

Р-9







будет все больший положительный заряд (+) и он со все возрастающей силой будет удерживать электроны (—), пытающиеся уйти в пластмассу.

Устранить эти неприятности и создать в проводнике-нагрузке непрерывный ток очень просто: соедините шерсть и шелк — тот кусок, что электризует стекло, и тот, что электризует пластмассу,— еще одним проводником. По этому проводнику «сверхнормативные» электроны будут переходить с куска шелка (—) на шерсть (+), а вместе с этим исчезнет препятствие для непрерывной электризации дисков и непрерывного движения зарядов по цепи. Теперь уже по замкнутой (Р-8).

Электрическая цепь с генератором, который мы до сих пор применяли, имеет ряд особенностей, и детально разобраться в том, что происходит в такой цепи, не очень просто. Трудности главным образом связаны с тем, что в генераторе использованы электроды из диэлектриков — стекла и пластмассы. (Электродами принято называть самые разные детали самых разных электрических машин и электронных приборов, в частности детали, к которым приходят или с которых уходят электрические заряды.) Нам, пожалуй, нет смысла тратить время для знакомства с данным типом генератора, а лучше перейти к генераторам, которые часто встречаются на практике.

Т-27

Т-27. В аккумуляторах и гальванических элементах для электризации электродов используются химические реакции. Что требуется от генератора? Во-первых, требуется, чтобы на электродах генератора был избыток электрических зарядов — на одном электроде избыток отрицательных зарядов (такой электрод называют отрицательным или сокращенно «минусом»), на другом электроде — избыток положительных зарядов (это положительный электрод, «плюс»). Во-вторых, по мере того как свободные электроны будут уходить с «минуса» генератора в нагрузку и приходить с нагрузки на «плюс», нужно каким-то образом добавлять электроны в «минус» и убирать их из «плюса». Одним словом, нужно, чтобы в электродах генератора поддерживался избыток электрических зарядов.

Чтобы накопить на электродах генератора избыточные ионы и электроны, чтобы создать на электродах заметный суммарный заряд, нужно поработать. Первый же избыточный электрон (—); который вы втолкнете в отрицательный электрод, будет препятствовать вталкиванию следующего электрона (—): ничего не поделаешь, одноименные заряды отталкиваются. И первый же положительный ион (+), который после удаления электрона (—) появится в положительном электроде, будет препятствовать удалению следующих электронов (—): разноименные заряды, как всегда, притягиваются. Нет, конечно же, избыточные заряды на электродах генератора не появятся сами собой, чтобы накопить их, нужно затратить определенную энергию.

Это в принципе может быть энергия разных сортов (Р-11) — световая, тепловая, энергия атомных излучений, механическая работа. А еще энергия химических реакций (Р-11; Р-12).

Когда вы отпускаете тетиву лука, выпускаете из него стрелу, то лук,

точнее, его только что натянутая тетива отдает свою энергию — распад системы на составные части (лук — стрела) сопровождается выделением энергии, ее уносит стрела. Когда в ведро с водой падает камешек, то появление новой системы (камешек — вода), объединение этих двух только что еще разных объектов, тоже сопровождается выделением энергии, в частности в виде слабого звука, всплеска воды.

Выделением энергии сопровождаются и химические превращения, распад молекул на части или объединение атомных комплексов в более крупные молекулярные системы. Энергия запасена в самой структуре химических веществ, подобно тому как она запасена в натянутой тетиве лука или в поднятом над водой камешке. Химические реакции в генераторе используют эти запасы энергии именно на то, чтобы непрерывно ввозить электроны в отрицательный электрод и вывозить их из положительного. То есть для того, чтобы накапливать электрические заряды на электродах.

Типичный химический генератор — это хорошо всем знакомый гальванический элемент (С-1; Р-12). Он получил свое название по имени итальянского естествоиспытателя Луиджи Гальвани, который около двухсот лет назад обнаружил взаимосвязь между химическими процессами и электрическим током. Устройство всех гальванических элементов одинаково — два электрода, вставленных в электролит, в жидкость, где как раз и происходят основные химические реакции, которые в итоге электризуют электроды. Различаются гальванические элементы самим веществом электродов и электролита и, следовательно, конкретным типом реакций.

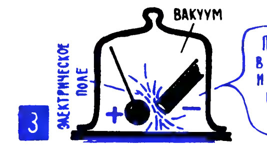
В наиболее популярном марганцево-цинковом элементе в качестве отрицательного электрода, «минуса» (—), используется цинк (Zn), в качестве положительного, «плюса» (+),— порошкообразная двуокись марганца (MnO_2), а электролитом служит раствор хлористого аммония (NH_4Cl). Цинковый электрод (—) — это чаще всего стаканчик, в который спрятана вся «начинка» элемента. Двуокись марганца (+) смешана с графитом и соединена с внешним миром через угольный стержень, который часто по ошибке принимают за положительный электрод. Электролит входит в кашеобразную массу, которая соприкасается и с цинком (—), и с двуокисью марганца (+).

Процессы в гальваническом элементе в самом упрощенном виде можно описать так. В результате химических реакций между цинком и электролитом из отрицательного электрода уходят положительные ионы цинка (Zn^{++} — атом с двумя недостающими электронами; их отбирает атом хлора, который уходит из NH_4CL и соединяется с Zn), и в электроде остаются избыточные свободные электроны. Так на цинковом электроде образуется значительный отрицательный заряд «минус». Одновременно совсем другие положительные ионы (NH_4 — молекулярный блок с одним недостающим электроном), которые появляются в электролите из-за его самопроизвольного химического распада, отбирают свободные электроны из двуокиси марганца, и у нее появляется значительный положительный заряд, «плюс».

Когда гальванический элемент никуда не подключен, то на его электро-





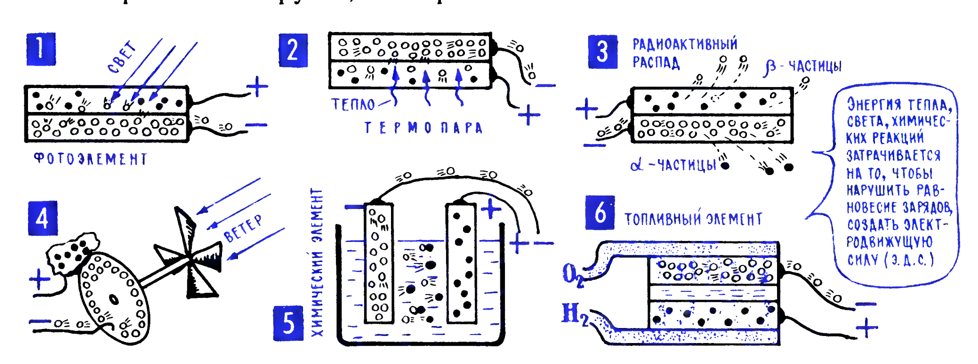


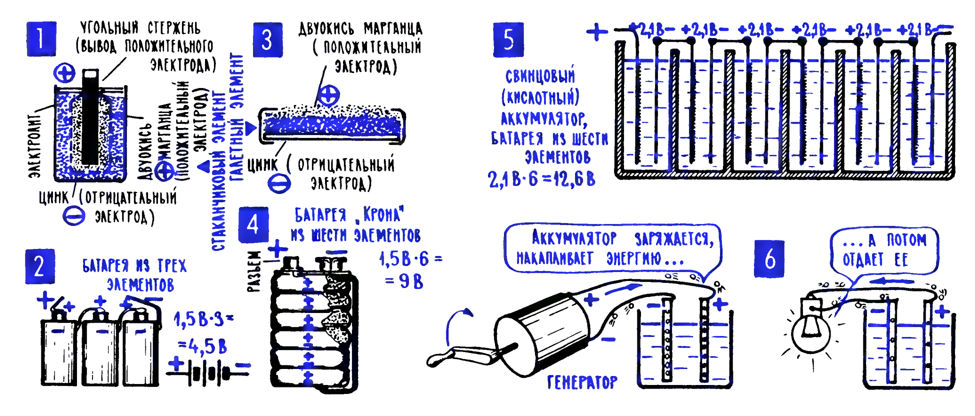
дах накапливается некоторое количество избыточных зарядов и после этого химические реакции в основном прекращаются. Потому что химическая реакция может вталкивать на электрод заряды лишь до тех пор, пока у нее хватит сил, чтобы преодолеть отталкивающее действие таких же зарядов, уже скопившихся на электроде. Но как только к химическому генератору будет подключена нагрузка и в цепи начнется ток, то есть в ней начнется движение электронов от цинка (—) к двуокиси марганца (+), то тут же химические реакции заработают, убирая с одного электрода положительные ионы, а с другого свободные электроны. Одновременно внутри генератора будут пополняться запасы «отбирателей», зарядов (Cl и NH_4), причем именно за счет химических реакций (распад NH_4Cl). «Отбиратели» будут двигаться каждый к «своему» электроду и соединяться каждый со «своим» зарядом (Cl — с ионом цинка, NH_4 — с электроном). И до тех пор, пока эти реакции будут идти, до тех пор, пока хватит химического сырья, наш генератор будет работать, будет происходить электризация электродов и они будут создавать ток во внешней цепи, в нагрузке.

А когда запасы сырья кончатся или появятся какие-либо другие помехи для химических реакций, то эти реакции прекратятся и генератор перестанет быть генератором. Важная характеристика химического источника тока — его емкость (Р-13; С-1), она говорит о том, как долго этот источник может создавать ток той или иной величины. Понять эту характеристику будет нетрудно после того, как мы познакомимся с единицами измерения тока (Т-30).

Если вы разберете негодный гальванический элемент, то увидите в нем частично разрушенный цинковый стакан — часть цинка уже израсходовалась, ушла в электролит в виде положительных ионов. Это одна из причин того, что элемент вышел из строя, разрядился. В этом отношении аккумуляторы выгодно отличаются от гальванических элементов — разрядившийся аккумулятор можно вновь зарядить, накачать его энергией от другого источника. При этом восстановится состав электродов и электролита, аккумулятор вновь сможет создавать ток в нагрузке (Р-12; 6).

Главная, пожалуй, характеристика химических источников тока, как, впрочем, и всех других электрических генераторов, говорит о том, насколько интенсивно на электродах происходит накопление избыточных зарядов. Чем больше силы, которые производят электризацию электродов (трение, химические реакции, тепло, свет), тем больше суммарный заряд, который на этих электродах накопится. Тем, следовательно, сильней будут выталкиваться свободные электроны с «минуса» в нагрузку, тем сильней они будут втягиваться из нагрузки в «плюс». И тем, значит, энергичней будет движение электронов в нагрузке, электрический ток.





Р-12

Эта характеристика, этот показатель уровня электризации, называется электродвижущей силой генератора, и именно с нее мы начинаем знакомство с конкретными характеристиками электрической цепи.

Т-28

Т-28. Электродвижущая сила (э. д. с.), ток и сопротивление — важнейшие характеристики электрической цепи. Важнейшие характеристики грузового автомобиля: грузоподъемность, размеры кузова, мощность двигателя, максимальная скорость, расход горючего, стоимость... Важнейшие характеристики водяной мельницы: высота подъема воды (высота, с которой вода падает на мельничное колесо); расход воды (количество воды, которое падает на колесо в единицу времени, например в секунду); скорость вращения жерновов; рабочая поверхность жерновов; трение в подшипниках водяного колеса, в подшипниках жерновов и другие потери энергии; производительность — количество зерна, перемалываемого в час...

Важнейшие характеристики электрической цепи (Р-14) — электродвижущая сила генератора, сила тока в цепи, сопротивление нагрузки, общее сопротивление цепи...

В названиях двух первых характеристик встречается слово «сила», однако в обоих случаях оно скорее литературное украшение, чем точный физический термин. В физике «сила» — совершенно определенное, точное понятие, она может быть точно измерена, выражена точными цифрами. В повседневной речи слово «сила», хотя и имеет всегда один и тот же общий смысл, однако употребляется в самых разных конкретных значениях, часто не имеющих ничего общего с «силой», как ее понимают физики. Вспомните выражения — «сильный дождь», «знание — сила», «вооруженные силы», «сильный ученик». В названии «электродвижущая сила» слово «сила» тоже введено как бы для образа. Сама же электродвижущая сила — сокращенно э. д. с. — показывает совсем не силу, а работу, которую может выполнить генератор, перемещая заряды по электрической цепи.

Перечисляя важнейшие характеристики водяной мельницы, мы назвали высоту подъема воды. Это действительно важнейшая характеристика, она говорит о том, насколько работоспособна поднятая плотиной вода: чем с большей высоты падает вода на мельничное колесо, тем лучше она работает. Ясно, что получение полезной работы — главная цель сооружения мельничной плотины, подъема воды на высоту. А значит, вместо характеристики «высота подъема воды» вполне можно было бы ввести другую характеристику «вододвижущая сила» или, точнее, «работоспособность одного литра воды», которая сразу давала бы конечный результат, показывала бы, какую работу может выполнить каждый литр воды, падающий с плотины

на мельничное колесо. Мы же не стали пользоваться этой удобной «работоспособностью» и выбрали «высоту подъема» только потому, что эта характеристика, по-видимому, более удобна для строителей мельничных плотин.

У любого электрического генератора одна задача — создавать ток в цепи, но о том, насколько успешно он готов справиться с этой задачей, могли бы рассказать разные характеристики генератора. Скажем, концентрация избыточных зарядов на его электродах: чем больше эта концентрация, тем энергичней заряды движутся по цепи; сила электрического поля, которое эти электроды создают; энергия, которую получает каждый единичный заряд — каждый электрон при его выталкивании из «минуса» и втягивании в «плюс». Или, что, по сути дела, то же самое, работа, которую каждый электрон может совершить, двигаясь по цепи. (Это очень похоже на работоспособность литра падающей воды.) Вот эта последняя характеристика и признана наиболее удобной, она очень точно показывает, насколько хорошо генератор может справляться с главными своими обязанностями: выполнять работу, двигая заряды по электрической цепи. И именно эта характеристика — работоспособность генератора, точнее работоспособность зарядов, которые он двигает по цепи,— и называется электродвижущей силой генератора или сокращенно э.д.с.

Теперь о токе.

Чтобы иметь точное представление о величине тока в каком-нибудь участке электрической цепи, этот участок мысленно перегораживают, устраивают в нем своего рода пограничный контрольный пункт. А затем подсчитывают, сколько свободных электронов или ионов проходит через эту воображаемую границу за единицу времени, скажем за секунду. И чем больше зарядов пройдет через «перегородку», тем, значит, интенсивнее движение зарядов, тем больше величина тока, больше (сильнее) ток. Чуть забегая вперед, отметим, что величина тока зависит от э.д.с. генератора — чем бо́льшую энергию может передать генератор свободным зарядам, тем быстрее они будут двигаться и тем большее количество зарядов включится в электрический ток. Тем сильнее этот ток.

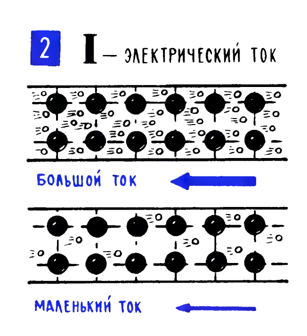
Сопротивление, или, как еще говорят, электрическое сопротивление,— характеристика и всей цепи в целом, и отдельных ее участков. Сопротивление — итоговая характеристика, в которой учтено множество различных сложных процессов. Таких, например, как уход электронов с внешних орбит некоторых атомов, или собственные тепловые колебания атомов и молекул, или еще сложность атомов, из которых состоит вещество, наличие в этом веществе каких-либо примесей. Просуммировав все эти факторы, характеристика «сопротивление» говорит о том, насколько легко генератору создавать ток в данном участке электрической цепи. Даже не вдаваясь в подробности, можно представить себе, что ток создается тем легче, чем легче внешние электроны покидают атом и чем больше этой свободной рабочей силы блуждает в межатомном пространстве. И еще ток создается тем лег-

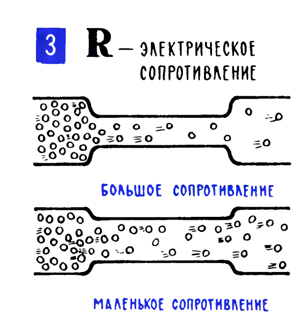
ЕМКОСТЬ ЭЛЕМЕНТА — 1 АМПЕР·ЧАС, НОРМАЛЬНЫЙ РАЗРЯДНЫЙ ТОК — 0,2 А

ЕСЛИ ПРЕВЫСИТЬ РАЗРЯДНЫЙ ТОК, НА КОТОРЫЙ РАССЧИТАН ЭЛЕМЕНТ, ТО ЕГО РЕАЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ РЕЗКО УМЕНЬШАЕТСЯ

		0,1 А	0,2 А	0,4 А	1 А
СРОК СЛУЖБЫ	РАСЧЕТНЫЙ	10 ЧАСОВ	5 ЧАСОВ	2,5 ЧАСА	1 ЧАС
	РЕАЛЬНЫЙ	10 ЧАСОВ	5 ЧАСОВ	1,5 ЧАСА	15 МИНУТ







Р-14

че, чем меньше размеры атома и чем дальше атомы расположены один от другого — в этом случае электрону легче двигаться в межатомном пространстве.

Сопротивление, как говорит сам смысл этого слова, показывает, насколько данный участок цепи или вся цепь в целом сопротивляются созданию электрического тока. И чем меньше сопротивление какого-либо проводника, тем легче генератору создавать в нем ток, тем больше будет этот ток при прочих равных условиях.

Не кажется ли вам, что в нашем рассказе об электрической цепи слишком часто используются слова там, где должны быть цифры? Мы говорим «много», «мало», «сильный», «слабый», «больше», «меньше», вместо того, чтобы точно сказать, сколько, на сколько, во сколько раз. Слова помогают понять суть дела, понять, как говорится, качественную сторону. Это очень важно, но не всегда достаточно. Можно понимать всю важность щедрого приема гостей, но нельзя прийти в магазин и сказать: «Продайте мне, пожалуйста, много печенья и очень много конфет». Вместо этих слов нужно назвать точные цифры — 2 и 8 или 2 и 3 — и добавить к ним единицы измерения — «килограммов».

Если в своем путешествии в мир электротехники и электроники вы ставите перед собой практические задачи, скажем изучение конкретных электронных приборов, знакомство с конкретными электронными установками или даже самостоятельное изготовление некоторых из них, то вам необходимо сделать следующий шаг — от общих представлений об электрическом заряде, токе, э.д.с., сопротивлении перейти к их количественной оценке.

Т-29. Единица длины — *метр,* массы — *килограмм,* силы — *ньютон,* работы — *джоуль,* мощности — *ватт*. Если длину измерять в метрах, время в секундах, а скорость в километрах в час, то всякий раз, вычисляя скорость по известным пути и времени или путь по известным времени и скорости, придется производить утомительный пересчет, перевод километров в метры или часов в секунды. Особенно неудобны такие пересчеты, когда сталкиваются вместе в одной задаче много разных характеристик, например: мощность, сила, расстояние, скорость, время, работа, энергия. Т-29

Чтобы избежать лишних пересчетов, переводов одних единиц в другие (было время, когда приходилось переводить футы в метры, метры в мили, мили в сантиметры, сантиметры в дюймы, дюймы в аршины, аршины в морские мили, килограммометры в дюймофунты, дюймофунты в тонно-мили — запутаешься!), созданы системы единиц, в рамках каждой такой системы самые разные единицы связаны предельно простыми соотношениями.

Для практических целей чаще всего употребляется система СИ — система интернациональная, или иначе система МКСА — метр-килограмм-секунда-ампер (Р-15). Единица длины в этой системе *метр*. Его получили так:

измерили длину меридиана, который проходит через Париж, разделили ее на 40 миллионов равных частей и объявили: «Отныне отрезок, равный одной сорокамиллионной парижского меридиана, будет служить единицей при измерении длины и называться метром». Конечно, метром пользоваться не всегда удобно — очень громоздкие цифры получаются, если измерять в метрах расстояние до Солнца или размеры атома. Поэтому было введено последовательное десятикратное уменьшение и увеличение метра в 10, 100, 1000 и большее число раз. Из метра легко были получены более мелкие единички с приставками: деци — десятая часть, санти — сотая часть, милли — тысячная и т. д. И более крупные единицы с приставками кило — в тысячу раз больше, мега — в миллион раз больше и т. д. Эти приставки позволяют легко получить единицы более крупные и более мелкие, в зависимости от того, что в данном случае удобней (С-2).

Единица длины помогла получить и единицу массы — *килограмм* — это масса литра обычной воды при температуре 4° Цельсия. А из единицы массы получилась и единица силы для системы СИ — это *ньютон*, сила, с которой притягивается к Земле масса в 102 грамма (цифра эта появилась из соотношения: 1 килограмм-силы = 9,8 ньютона; число 9,8 берет свое начало от земного ускорения 9,8 метр/секунда^2).

Ньютон — единица непривычная, долгие годы единица силы, или, что более понятно, единица веса (вес — это есть сила, с которой данное тело притягивается к Земле), была крупнее и называлась так же, как и единица массы,— килограмм. Просто единицей веса выбрали вес литра воды и дали этой единице такое же название, какое было у единицы массы (исторически все, может быть, и было иначе, но по существу — именно так). Это очень неудобно: одинаково называть две совершенно разные единицы, определяя две совершенно разные характеристики. Приходилось каждый раз к слову «килограмм» давать пояснения, к чему он относится — к массе или к весу. Так и говорили: «килограмм массы» или «килограмм силы». В системе СИ такой путаницы быть не может, здесь для силы (веса) есть своя собственная единица. А если вам придется переводить килограммы веса в ньютоны, то нетрудно запомнить, что килограмм — это примерно 10 ньютонов, а ньютон — примерно 100 граммов веса.

Промелькнувшая чуть раньше единица времени секунда получена как 1/86637 часть суток, то есть времени одного оборота Земли вокруг своей оси. Разумеется, в наше время, когда секунды, метры, килограммы нужно отмерять с очень высокой точностью, пользуются и чрезвычайно точными эталонами времени, длины, массы и всех других физических величин. Эталоны эти часто берут из мира атомов, отсчитывая, например, время по очень стабильному «маятнику» — электромагнитным колебаниям, возникающим, в частности, при переходе электрона с одной орбиты на другую.

Единица работы в системе СИ — *джоуль*. Это работа, которую производит сила в 1 ньютон на пути в 1 метр, то есть, например, работа, которую нужно выполнить, чтобы поднять на высоту в 1 метр полстакана воды (без учета веса стакана). Легко получается в системе СИ и единица мощности. Напомним, мощность — это работа, которая выполняется за единицу времени, например за секунду. Мощность — характеристика очень важная как для поставщиков, так и для потребителей энергии. Конечно, и общий объем работы очень важен, но иногда нужно еще знать, насколько интенсивно ведутся работы, сколько чего делается за определенное время, например за час или за секунду.

Когда мы говорим, что какой-то генератор может выполнить работу в 1 джоуль, то этого еще недостаточно, чтобы представить себе такой генератор. За сколько времени он наработает этот джоуль? Если за секунду — неплохо. Если за сотую долю секунды — еще лучше, это значит, что генератор работает энергичнее, быстрее выполняет данный объем работ. А если работа в 1 джоуль будет выполнена за месяц, то, значит, генератор работает чрезвычайно слабо, вяло.

С-1. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

Основная часть названия выпускаемых в нашей стране химических элементов — это чаще всего трехзначное число, которое говорит о габаритах и косвенно о емкости: чем больше элемент, тем больше в нем активного вещества, запасающего электроэнергию. Основные типы элементов (представлены в таблице по мере увеличения размеров) — 316, 332, 336, 343 и 373.

В приведенной ниже таблице приняты следующие обозначения: U — напряжение (в вольтах) в начале разряда, $R_н$ — сопротивление нагрузки (в омах), для которого приводятся все данные; I — разрядный ток (в миллиамперах); *Емк* — емкость элемента или батареи (в ампер-часах); во второй колонке приводятся габариты источника (в миллиметрах), там, где приведены две цифры — первая означает диаметр круглого элемента, а вторая — его высоту; там, где приведены три цифры, они, как обычно, относятся к высоте, длине и ширине; в последней колонке таблицы приведена масса m (в граммах).

Название	Габариты (*мм*)	U (В)	$R_н$ (Ом)	I (мА)	*Емк* (А-ч)	m (*г*)
316	14-50	1,52	200	7,5	0,5	20
332	22-37	1,4	200	7	0,75	30
336	20-58	1,4	20	70	0,7	40
343	26-49	1,55	20	75	0,85	50
373	34-61	1,55	20	75	3,2	110
3-336	63-22-67	4,2	60	70	0,7	200
«Крона-ВЦ»	16-26-49	8,5	900	9,5	0,7	35

Примечания: 1. Элементы одних и тех же габаритов могут несколько отличаться по конструкции, а также по типу примененного электролита. В таблице приведены данные для элементов с солевым электролитом, выпуск которых был начат много лет назад и продолжается сегодня. Некоторые из этих элементов имеют, так сказать, собственные имена — 373-МАРС, 373-ОРИОН-М, 343-ЮПИТЕР, 316-УРАН, 3-336-ПЛАНЕТА.

Все возрастающая доля выпускаемых источников тока приходится на более современные химические элементы с **щелочным электролитом.** В их обозначение входит буква А (А-316, А-332, А-336 и А-343), а также слова «Прима» и «Салют». Эти элементы резко отличаются по одной из самых важных характеристик — их **емкость примерно в 2 раза выше,** чем у элементов с солевым электролитом.

2. Наряду с элементами, имеющими разный электролит, существуют и две разные конструкции. Приметные особенности одной из них — это цинковый стакан в плотном картонном футляре и выступающий колпачок, куда выводится «плюс»; в другой конструкции «плюс» выводится на чехол из тонкой жести с выдавленным подобием колпачка, а «минус» на изолированное уплотняющей прокладкой донышко. Элементы одинаковой конструкции могут иметь разный электролит.

3. Батарея 3-336 собрана из трех соединенных последовательно элементов 336; батареи «Крона ВЦ» (солевой электролит) и «Корунд» (щелочной электролит) собраны из шести небольших плоских элементов.

4. Сопротивление нагрузки может быть меньше указанной величины, то есть разрядный ток может быть больше, но с увеличением разрядного тока резко уменьшается емкость (Р-13).

5. Все данные в таблице относятся к температуре +20 °С, при температуре —40 °С емкость источников уменьшается в десять раз.

То же самое и в отношении потребителей энергии. Если, например, известно, что в электрической лампочке ток выполняет работу в 1000 джоулей, то вы не сможете представить себе яркость лампочки, пока не узнаете, за сколько времени выполняется эта работа. Если за секунду — хорошо, такая лампочка светит очень ярко, ее эквивалент — тысяча свечей. Если работа в 1000 джоулей растянута на минуту, то лампочка светит достаточно тускло. Ну а если лампочка только за час выполняет работу в 1000 джоулей, превращая электрическую энергию в свет, то светит такая лампочка, скорее всего, как одинокий тлеющий уголек.

В системе СИ единица мощности — *ватт*. Это работа в 1 джоуль, выполненная за 1 секунду. Если генератор нарабатывает 1 джоуль за 2 секунды, то мощность этого генератора уже меньше — всего 0,5 ватта. А если работа в 1 джоуль выполняется за 0,1 секунды, то, значит, генератор работает энергичней, его мощность 10 ватт.

Как видите, большую группу важных единиц мы получили, начав с метра, с единицы длины. Другую группу мы сейчас получим, начав с единицы электрического заряда.

Т-30 С-2

Т-30. Единица электрического заряда — *кулон*, величины тока — *ампер*, электродвижущей силы — *вольт*, сопротивления — *ом*. С метром дело было

С-2. ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Все без исключения производные единицы (километр, сантиметр, микроампер и т. д.) образуются с помощью приставок (кило, санти, микро и т. д.), которые добавляются к основной единице (метр, грамм, ампер, фарада и т. д.) и говорят о том, какую часть от основной единицы составляет данная производная единица или на сколько нужно умножить основную единицу, чтобы получить данную производную.

Название приставки	Сокращенное обозначение		Соотношение с основной единицей
	русское	международное	
тера	*Т*	*T*	10^{12} = 1 000 000 000 000
гига	*Г*	*G*	10^{9} = 1 000 000 000
мега	*М*	*M*	10^{6} = 1 000 000
кило	*к*	*к*	10^{3} = 1000
гекто	*г*	*h*	10^{2} = 100
дека	*да*	*da*	10
деци	*д*	*d*	10^{-1} = 0,1
санти	*с*	*c*	10^{-2} = 0,01
милли	*м*	*m*	10^{-3} = 0,001
микро	*мк*	μ	10^{-6} = 0,000 001
нано	*н*	*n*	10^{-9} = 0,000 000 001
пико	*п*	*p*	10^{-12} = 0,000 000 000 001

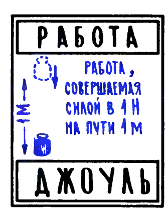
Примеры: 1 *мкА* = 10^{-6}*А* = 0,000 001 *А*; 5 *МГц* = 5 · 10^{6} *Гц* = 5 000 000 *Гц*; 0,02 *В* = 20 *мВ*; 3 *мг* = 0,003 *г*; 0,5 *м* = 50 см; 1 *пФ* = 10^{-12} *ф* = 10^{-6} *мкФ* = 0,000001 *мкФ*; 10 000 *пФ* = 0,01 *мкФ*; 2 *нсек* = 2 · 10^{-9} *сек* = 0,000 000 002 *сек* и т. д.











СОВРЕМЕННАЯ МЕТРОЛОГИЯ, КОНЕЧНО, ПОЛЬЗУЕТСЯ ИНЫМИ, ЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЕЕ ТОЧНЫМИ ЭТАЛОНАМИ











просто — отмерил меридиан, разделил на 40 миллионов, и метр готов. А где взять единицу электрических свойств, электрического заряда? Как практически получить такой единичный заряд? Или, по крайней мере, как его представить себе?

Единицу электрического заряда лучше всего взять в атоме. Там находятся частицы, у которых имеются самые маленькие порции электрических свойств, причем электрические свойства этих частиц, их электрический заряд, всегда одинаковы, всегда стабильны. Вы, конечно, вспомнили: это протон, частица с минимальным положительным зарядом, и электрон, частица с точно таким же по величине, но уже отрицательным зарядом (Т-17).

Заряд электрона (или, что количественно то же самое, заряд протона) — очень удобная единица заряда. Но очень маленькая. Пользоваться ею на практике было бы так же неудобно, как, скажем, измерять в миллиметрах расстояние между планетами. Поэтому единица заряда выбрана значительно более крупная — единицей признан электрический заряд, равный суммарному заряду 6 280 000 000 000 000 000 электронов (сокращенная запись — $6{,}28 \cdot 10^{18}$). Эта единица, вобравшая в себя около 6 миллиардов миллиардов зарядов электрона, получила название *кулон*.

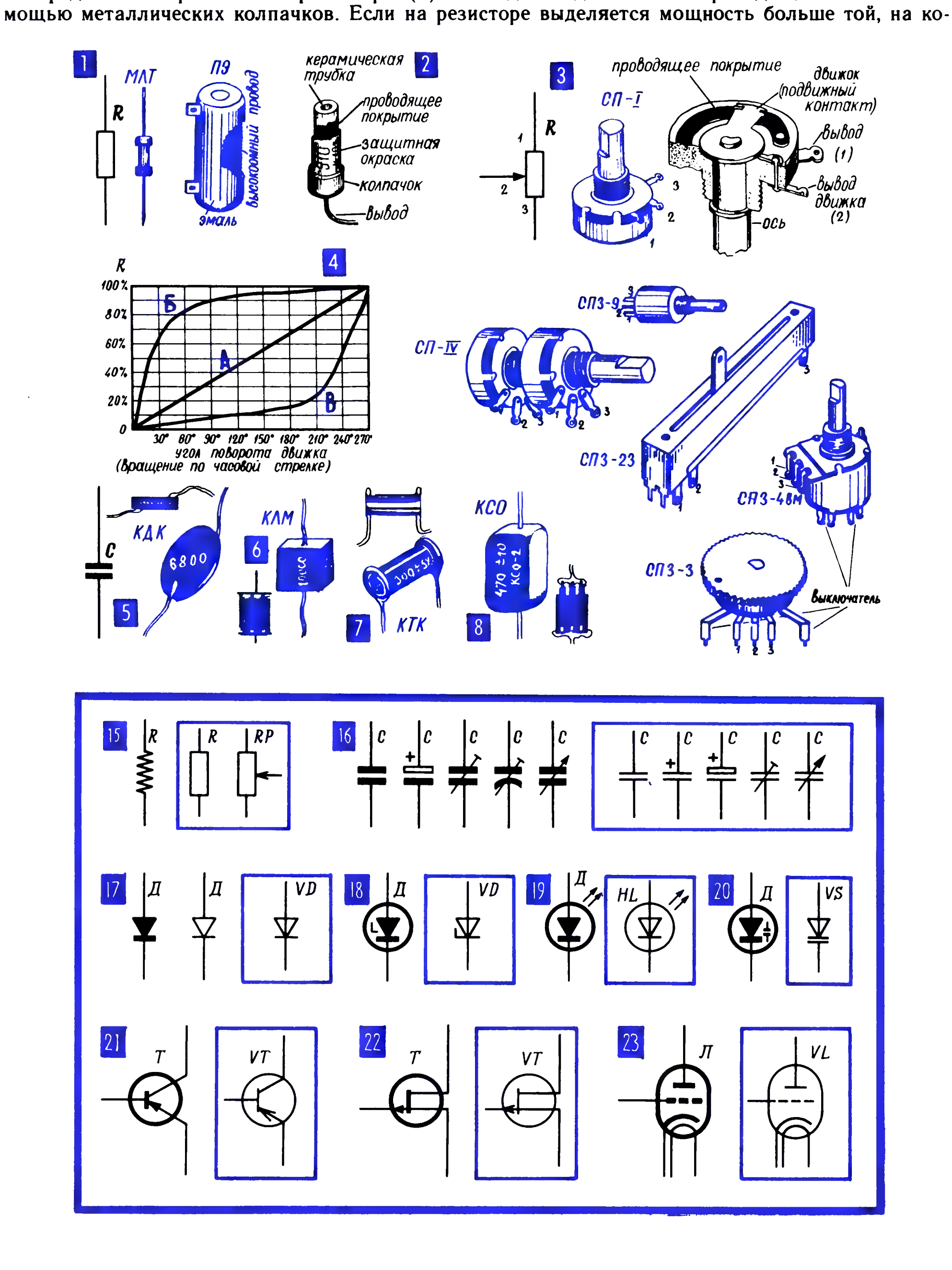
Имея единицу заряда, легко ввести и другие недостающие нам электрические единицы. Единица силы тока (величины тока, тока) — *ампер* — получается так: если через поперечное сечение проводника за одну секунду проходит суммарный электрический заряд в 1 кулон, то ток в таком проводнике равен 1 амперу. Теперь представим себе, что движение электронов проходит более вяло, и в результате за секунду через сечение проводника проходит уже не кулон, а полкулона, то есть не 6, а 3 миллиарда миллиардов электронов (или, что то же самое, 6 миллиардов миллиардов электронов проходит за 2 секунды). В этом случае ток в цепи — 0,5 ампера.

Здесь уместно вспомнить, что в некоторых проводниках под действием электрических сил движутся и создают ток не только свободные электроны, но еще и свободные положительные ионы (Р-6). Причем если электроны двигаются от выталкивающего их «минуса» к притягивающему их «плюсу», то положительные ионы идут в противоположном направлении: «плюс» их выталкивает, «минус», наоборот, притягивает. Как же в этом случае определяется величина тока? Какие учитываются заряды?

На первый взгляд может показаться, что в счет нужно принимать раз-

К-3. НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ (РАДИОДЕТАЛИ)

1, 2. Здесь показано условное обозначение резистора R, внешний вид и устройство одного из непроволочных резисторов (МЛТ) и остеклованного, то есть залитого стеклом (эмалью), проволочного резистора (ПЭ). Проволочные резисторы рассчитаны на сравнительно большие токи и мощности, обычно на десятки ватт; непроволочные резисторы рассчитаны на мощности от долей ватта до нескольких ватт (Р-27). Конструктивная основа типичного непроволочного резистора — керамическая трубка; на нее нанесен тончайший слой проводящего материала, который и определяет сопротивление резистора (2). Выводы соединяются с проводящим слоем с помощью металлических колпачков. Если на резисторе выделяется мощность больше той, на ко-



торую он рассчитан, то резистор темнеет и в итоге сгорает (разрушается токопроводящий слой, образуется разрыв цепи).

3, 4. Тонкое токопроводящее покрытие, нанесенное на дужку из изолятора, определяет сопротивление переменного резистора. По проводящему слою движется скользящий контакт; его иногда полезно смазать капелькой вазелина (вскрыв корпус резистора), чтобы улучшить соединение скользящего контакта с проводящим слоем. Существует несколько конструктивных разновидностей переменных резисторов, в том числе и переменные резисторы, сдвоенные и спаренные с выключателем. Кроме того, переменные резисторы различаются зависимостью самого сопротивления R от угла поворота движка (4). Здесь различают резисторы типа А с линейной зависимостью, типа Б — с логарифмической и типа В — с показательной зависимостью. В регу-



ляторах громкости усилителей НЧ необходимо применять резисторы с показательной зависимостью, то есть типа В; это позволит учесть особенности нашего слуха (закон Вебера — Фехнера; Т-102) и плавно регулировать громкость звука.

5, 6, 7, 8. Разнообразен ассортимент конденсаторов сравнительно небольшой емкости (от единиц *пФ* до сотен тысяч *пФ*, то есть десятых долей *мкФ*). В одних основой служит керамический диск с напыленными с обеих сторон металлическими обкладками (5; конденсатор дисковый керамический) или керамическая трубка (7). В конденсаторах КЛС (6) используется диэлектрик с большим ε, и поэтому их габариты сравнительно невелики. В конденсаторах КЛС-Н30 и Н70 на высоких частотах в диэлектрике возникают сильные потери энергии, и эти конденсаторы относят к числу низкочастотных. В недалеком прошлом были очень распространены хорошие высокочастотные конденсаторы КСО (8; конденсатор слюдяной, опрессованный в пластмассу).

9. Емкость конденсаторов переменной емкости — КПЕ — образована двумя группами пластин — ротором 1 и статором 2. При монтаже всегда заземляют (соединяют с общим приводом) ротор: он сидит на металлической оси, и когда рука коснется ручки настройки, связанной с этой осью, то заметно изменится емкость конденсатора, если ротор не будет заземлен. Различают КПЕ с твердым диэлектриком (пластиковая пленка) между пластинами и с воздушным (между пластинами просто воздух). Основная характеристика КПЕ — его максимальная и минимальная емкость и соответственно коэффициент перекрытия на емкости κ_c (Р-122).

10. В керамических подстроечных конденсаторах (иногда говорят «конденсаторы полупеременной емкости») одна из обкладок, напыленная на керамический диск, вращается вместе с этим диском относительно второй. У наиболее распространенных подстроечных конденсаторов емкость меняется от 3—5 *пФ* до 15—30 *пФ*, но у некоторых типов (например, КПК-2; его сразу можно узнать по большим размерам) от 5—8 *пФ* до 120—150 *пФ*; иногда радиолюбители используют такие конденсаторы вместо КПЕ для настройки контура. Подстроечный конденсатор небольшой емкости можно изготовить самому, намотав на кусочек толстого провода ПЭ (одна обкладка) тонкий провод ПЭ (вторая обкладка).

11. В низкочастотных цепях, где нужна очень большая емкость (от единицы до тысяч *мкФ*), используют электролитические конденсаторы. Они бывают нескольких типов — ЭМ (малогабаритные), К50-3 и К50-6 (тоже малогабаритные), КЭ (среди них часто встречаются такие, которые крепятся к монтажной панели гайкой). Электролитические конденсаторы включают только в такие цепи, где, кроме переменного, действует еще и постоянное напряжение, оно обязательно должно быть приложено к электролитическому конденсатору, причем в строго определенной полярности. Некоторые типы электролитических конденсаторов могут работать и без постоянного напряжения, их можно отличить по сравнительно большим габаритам и отсутствию знаков «+» и «—» на корпусе.

12. Бумажные конденсаторы тоже бывают разных типов, бумажные малогабаритные (КБМ), герметизированные (КБГМ), малогабаритные металлизированные (МБМ) и др. Их основа — ленты фольги и изоляции (тонкая бумага), свернутые спиралью. В последние годы все чаще можно встретить конденсаторы, где нет фольги, в них на пленку или на бумагу нанесен тончайший слой металла, и сама пленка тоже свернута спиралью. Кстати, подобным же образом устроены электролитические конденсаторы, но в них между обкладками находится пастообразный или жидкий электролит; если электролит высыхает, конденсатор теряет емкость.

13. Из огромного ассортимента электромагнитных реле обычно используется лишь несколько типов (С-20). Если на схеме несколько реле, то их контакты обозначают дробью, где в числителе порядковый номер реле на данной схеме, а в знаменателе номер его контакта (Р-152).

14. Стирающие магнитные головки, как правило, собраны на ферритовом сердечнике, записывающие, воспроизводящие и универсальные — на сердечнике из тонкого пермаллоя. Эти головки защищены магнитным экраном из пермаллоя, а стирающие обычно запрессованы в пластмассу. Магнитный зазор создается тонкой пленкой бронзовой фольги.

15—34. За последние годы несколько раз менялась система условных изображений и сокращенных буквенных обозначений большинства деталей радио- и электронной аппаратуры. В синих рамках на рисунках 15—34 показаны последние из принятых условных изображений и буквенных обозначений для наиболее часто встречающихся в любительской литературе радиодеталей. На этих рисунках: 15 — резисторы, 16 — конденсаторы, 17 — диод, 18 — стабилитрон, 19 — светодиод, 20 — варикап, 21 — транзистор, 22 — полевой транзистор, 23 — электронная лампа, 24 — интегральная микросхема, 25 — предохранитель, 26 — химический источник тока, 27 — антенна, 28 — магнитная антенна, 29 — трансформатор, 30 — катушка индуктивности, 31 — выключатель, 32 — переключатель двухпозиционный, 33 — кнопочный включатель, 34 — переключатель многопозиционный.

35—41. В описаниях радиоэлектронной аппаратуры часто приводятся схемы соединения ее основных узлов, как их называют, скелетные схемы или блок-схемы. На таких схемах каждый блок изображается прямоугольником или треугольником, при этом названия блоков пишут в самих прямоугольниках либо отображают некоторым набором условных знаков. Примеры таких условных обозначений приведены на рисунках: 35 — генератор высокочастотного пере-

менного тока (напряжения), 36 — амплитудный детектор, 37 — преобразователь частоты, 38 — фильтр нижних частот, 39 — полосовой фильтр, 40 — частотный детектор (модулятор), 41 — усилитель; треугольник, напоминающий острие стрелки, указывает направление, в котором производится усиление сигнала — направление от слабого сигнала к усиленному, от входа к выходу.

Подробное описание деталей и элементов электронных схем приводится в соответствующих разделах книги, а более подробные сведения об изменении условных обозначений можно найти в разделе Т-2.

К-4. НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ (РАДИОДЕТАЛИ)

1, 2. На рисунках показаны типичные полистироловые каркасы, которые применяются во многих промышленных приемниках,— каркас для коротковолновых катушек (2) и каркас для средневолновых, длинноволновых и катушек контуров промежуточной частоты (1). Все катушки с подстроечными сердечниками. В контурах ПЧ к катушке часто прилегает ферритовое кольцо, оно позволяет получить заданную индуктивность при меньшем числе витков, то есть при меньшем сопротивлении катушки и, значит, более высокой добротности контура. Каркасы этого типа бывают с двумя, тремя и четырьмя секциями (последний вариант показан на рисунке). Кроме того, на каркасе для входных контуров при их индуктивной связи с антенной (Р-124; 2) закреплена еще и отдельная большая секция для катушки связи, в которой довольно много витков (С-18).

3. Часто встречаются катушки в горшкообразных сердечниках из ферромагнитного материала, например феррита. Сердечники эти бывают разных размеров, в частности с внешним диаметром 8, 12, 24, 36 *мм*; сама катушка находится внутри, она намотана на каркасе, обычно секционированном. Магнитное поле катушки почти полностью замыкается через «горшок», и это позволяет получить значительную индуктивность. Так, например, в ферритовом (Ф-600) сердечнике диаметром 36 *мм* катушка, которая содержит 3×300 витков (три секции по 300 витков, всего 900 витков) провода ПЭ — 0,12, имеет индуктивность около 1 *Гн*; такие катушки удобны для задающих генераторов многоголосых ЭМИ (Т-248). Витки связи с основной катушкой можно разместить внутри самого «горшка» (если число витков катушки связи сравнительно невелико) или снаружи, на отдельном каркасе, который надевается на «горшок».

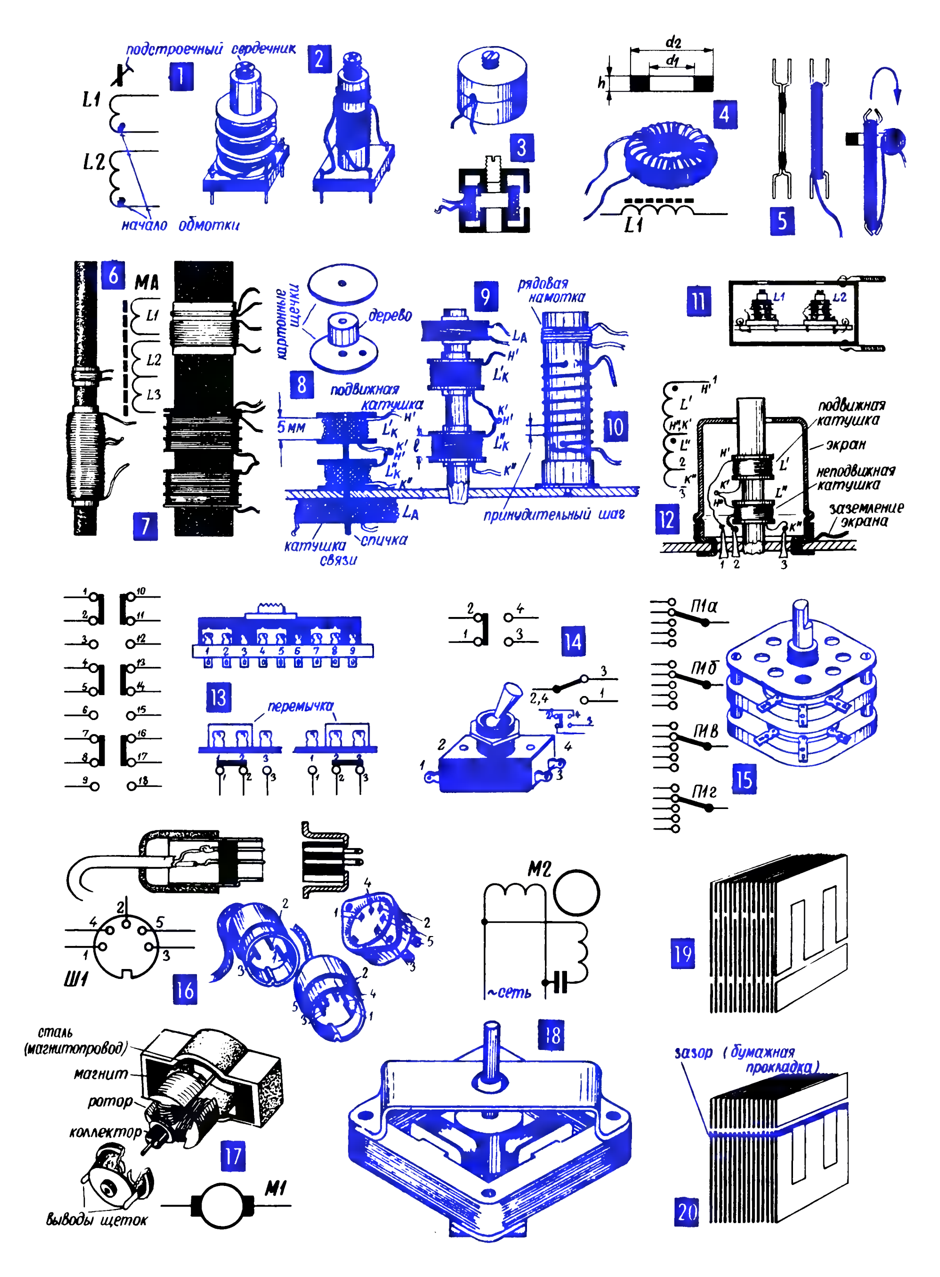
4, 5. Катушка или дроссель могут быть намотаны на ферритовом кольце, для этого любители чаще всего пользуются самодельным челноком (5). В крайнем случае можно расколоть кольцо, намотать катушку, а затем кольцо аккуратно склеить.

6, 7. Для магнитных антенн выпускаются круглые или прямоугольные стержни. Сами катушки намотаны на бумажных гильзах или в каркасах. Для подгонки индуктивности можно перемещать секции катушки, а если этого недостаточно, подбирать число витков. Катушка связи с первым транзистором содержит малое число витков, ее располагают рядом с соответствующей контурной катушкой; иногда ограничиваются одной катушкой связи, размещая ее между контурными катушками ДВ и СВ диапазонов. Число витков в контурных катушках зависит от выбранного КПЕ, от диапазона частот и еще, конечно, от размеров стержня магнитной антенны (С-18).

8, 9, 10. Если нет под руками фабричных катушек или хотя бы каркасов, их можно изготовить самому. При этом, как правило, добротность катушек получается несколько хуже, но все же резонансные свойства контура проявляются достаточно хорошо.

На рисунке 8 самые простые катушки для диапазона ДВ и СВ и контуров ПЧ. Каждая катушка состоит из двух последовательно соединенных секций; перемещая одну из них, можно в некоторых пределах менять общую индуктивность. Каркасы изготовлены из отрезков карандаша (грифель удален) или иных деревянных (пластмассовых) цилиндров, к которым приклеены картонные щечки. Подвижная секция приклеена к спичке, двигая которую можно перемещать эту секцию. После того как индуктивность подобрана, спичку фиксируют капелькой клея. Если нужна катушка связи с большим числом витков, то для нее нужно изготовить отдельный каркас. На рисунке 9 еще один вариант ДВ, СВ и ПЧ катушек, их каркасы склеены из картона и бумаги (К-11;4). Они легко перемещаются по деревянному (пластмассовому) стержню, в качестве которого можно взять обычный карандаш. Добротность обоих этих типов катушек можно заметно повысить, приклеив к ним ферритовые кольца. При этом число витков катушки, приведенное в С-18, нужно уменьшить на 10—30% (в зависимости от размеров кольца и марки феррита) и окончательно подобрать опытным путем. Вообще, применяя самодельные катушки, нужно быть готовым к тому, что число витков придется изменять при налаживании приемника. Каркасом для самодельных коротковолновых катушек могут служить картонные охотничьи гильзы (10).

11, 12. Здесь показано возможное устройство двухконтурного фабричного фильтра ПЧ (11) и одноконтурного самодельного (12). Внешний экран самодельного фильтра — это небольшой алюминиевый стаканчик, скажем алюминиевая коробочка от диафильмов. Экран нужно зазем-



лить, соединить с общим проводом (Р-93). В нижней части экрана (крышка коробочки) делается окно для остова катушки и ее выводов; отогнутыми полосками алюминия крышка экрана крепится к фанерной панели (К-4;12).

13, 14, 15. Посеребренные контакты переключателя диапазонов рассчитаны на переключение высокочастотных цепей. Переключатели эти различаются главным образом числом подвижных контактов (число секций, или, иначе, групп) и числом положений. На рисунке 13 — переключатель, применяемый в ряде транзисторных приемников,— в нем шесть секций, на два положения каждая. То есть такой переключатель может коммутировать шесть независимых цепей (шесть «концов») в двухдиапазонном приемнике. Иногда для переключения катушек используют перекидной выключатель (тумблер). Он может поочередно включать-выключать

две цепи, а при определенном соединении выводов становится односекционным переключателем на два положения. Часто еще встречаются галетные переключатели (15). Их платы («галеты») имеют разное число положений (от 2 до 12) и разное число секций на каждой «галете» (от одного до шести), но число секций можно увеличить, собирая «галеты» в единый переключатель. На рисунке — четырехсекционный переключатель (на каждой «галете» две секции) на пять положений.

16. В последние годы в радиоаппаратуре широко используются круглые штепсельные соединители (разъемы) для низкочастотных цепей, радиолюбители часто называют их «бананами». Такой разъем состоит из двух частей — розетки с пятью гнездами и пятиштырьковой вилки. Иногда, правда, на вилке двух штырьков нет, она оказывается трехштырьковой, но при этом, конечно, по-прежнему нормально стыкуется с пятиштырьковой розеткой. Стандарт четко предусматривает совершенно определенный порядок распайки соединителей, то есть строгий порядок подключения тех или иных цепей к розеткам и к вилкам разъемов. Именно благодаря этому порядку можно, например, любой микрофон или звукосниматель с пятиштырьковой (трехштырьковой) вилкой включать в пятиштырьковую петельку любого магнитофона или усилителя.

Вот он, этот принятый порядок распайки соединителей (нумерация штырьков вилки и розетки в соответствии с К-4;16); если цифра 2 указана жирным шрифтом, то, значит, штырек вилки или гнездо розетки «заземлены».

Звукосниматели «моно» — 3,**2** (экранированный провод, шасси); «стерео» — 3,**2** (левый канал) и 5,**2** (правый канал).

Микрофоны высокоомные несимметричные (например, динамический с встроенным трансформатором) «моно» — 1,**2**; «стерео» — 1,**2** (левый канал) и 4,**2** (правый канал).

Линейный выход «моно» — 3,**2**; «стерео» — 3,**2** (левый канал), 5,**2** (правый канал).

Микрофоны низкоомные: симметричный «моно» — 1,3 (вход), **2** — корпус; симметричные «стерео» — 1,3 (левый канал); 4,5 (правый канал), **2** — корпус; несимметричный «моно» — 1,**2**; несимметричные «стерео» — 1,**2** (левый канал), 4,**2** (правый канал).

Примечания. На вилке звукоснимателя «моно» и на розетке входа усилителя НЧ «моно» в телевизорах, приемниках, магнитолах и других аппаратах, кроме магнитофонов, ножка (гнездо) 3 может быть накоротко соединена с ножкой (гнездом) 5.

Принятая система распайки позволяет на одном гнезде иметь и входные гнезда, и выходные. Например, в портативных магнитофонах одна розетка для сигналов (вторая — для питания) и на ней гнезда 2,1 — это вход, куда при записи подключается микрофон, а гнезда 2,3 — это выход, с которого воспроизводимый сигнал можно подать на другой магнитофон для перезаписи или на мощный усилитель.

17. Электродвигатель постоянного тока — «школьный моторчик» — выделяется среди всех других такими важными параметрами, как дешевизна, распространенность и, следовательно, доступность.

18. А из электродвигателей переменного тока чаще всего, пожалуй, в электропроигрывателях любители применяют ЭДГ; одна из его обмоток включается через фазосдвигающий конденсатор.

19, 20. В зависимости от условий работы трансформатора его сердечник собирают без зазора, «в перекрышку» (19; силовые трансформаторы, выходные трансформаторы двухтактных схем) или с зазором (20; дроссели фильтра, трансформаторы, работающие со значительным постоянным подмагничиванием).

ность между положительными и отрицательными зарядами. Потому что одни идут туда, другие — обратно, и какое движение преобладает, то в итоге и создает ток.

Такая арифметика, однако же, несправедлива, а значит, и неверна. Потому что, независимо от того, в какую сторону идут заряды и какие это заряды — электроны или положительные ионы,— они всегда работают. И те и другие, к примеру, в процессе своего движения ударяют по атомам, вырабатывают тепло, свет. Поэтому, определяя ток в цепи, где движутся разные типы зарядов, нужно учитывать общее их количество, учитывать не разность, а сумму. Если по проводнику за 1 секунду в одну сторону прошло 6 миллиардов миллиардов электронов (1 кулон) и за то же время в другую сторону прошло столько же положительных однозарядных ионов (атомов с одним потерянным электроном, то есть одним лишним «плюсом»), то ток составляет 2 ампера. Потому что всего через поперечное сечение проводника за 1 секунду прошел заряд в 2 кулона.

Следующая на очереди — единица электродвижущей силы, вольт. Чтобы лучше понять, что она означает, можно в порядке шутки ввести аналогичную единицу, которая позволит оценить работоспособность мельничной плотины. Будем считать, что если литр воды, падая с этой плотины, может выполнять работу в 1 джоуль, то ее вододвижущая сила, то есть сокращенно ВДС плотины, составляет 1 мельник. А если тот же литр воды, падая вниз, наработает 5 джоулей, то ВДС плотины будет уже в 5 раз больше — 5 мельников. На эту характеристику, на ВДС, очень похожа наша электродвижущая сила — работа, которую может выполнить генератор, перемещая по цепи определенный электрический заряд (Т-28). Единица э.д.с. 1 вольт — это такая электродвижущая сила, при которой каждый кулон, пройдя по цепи, совершит работу в 1 джоуль.

У батарейки для карманного фонаря, например, э.д.с. — около 4 вольт, а значит, каждый кулон зарядов, которые эта батарейка протолкнет по цепи, может выполнить работу в 4 джоуля. Вспомните, что одного джоуля достаточно, чтобы поднять полстакана воды на метровую высоту. Но вот для тепловых работ 4 джоуля — величина очень небольшая: чтобы вскипятить полстакана воды, нужно 10—20 тысяч джоулей.

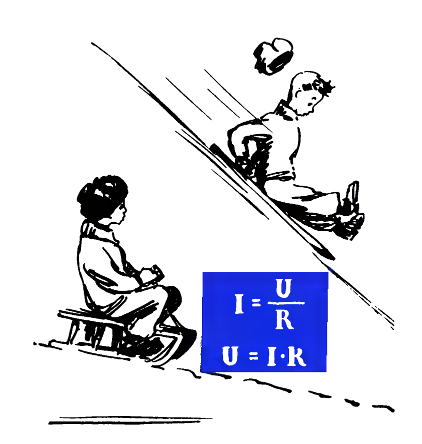
Единица сопротивления — ом — тоже произвольная величина. Сама характеристика «сопротивление» говорит о том, легко или трудно генератору создавать ток в данном проводнике (Т-8). Если под действием э.д.с. 1 вольт в проводнике идет ток в 1 ампер, то сопротивление такого проводника принимается за единицу сопротивления — 1 ом. Если при той же э.д.с. ток меньше, значит, сопротивление больше одного ома, если ток больше, значит, сопротивление меньше ома. Например, если при э.д.с. 1 вольт ток в проводнике 10 ампер, то значит, сопротивление проводника в десять раз меньше единичного, то есть составляет 0,1 ома. А если при э.д.с. 1 вольт ток всего 0,001 ампера, то сопротивление 1000 ом или в 1 килоом.

Все названные единицы имеют сокращенные обозначения: метр — м, килограмм — кг, секунда — с (иногда пишут сек), ньютон — Н, джоуль — Дж, ватт — Вт, кулон — К, вольт — В, ампер — А, ом — Ом.

Обратите внимание: названия единиц, которые произошли от собственных имен, при сокращении пишутся с большой буквы. Это дань уважения людям, чьи имена присвоены этим единицам измерения.







ГЛАВА 4

КОНСТИТУЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Т-31

Т-31. Закон Ома: чем больше э. д. с, тем больше ток, чем больше сопротивление, тем меньше ток. То, о чем рассказано в этой главе, есть нечто очень важное, а может быть, даже самое важное на вашем пути в электронику. Вам сейчас предстоит познакомиться с основными законами электрических цепей, и прежде всего с законом Ома. Выучить и пересказать законы электрических цепей несложно. Но этого мало — вам нужно понять и прочувствовать все описанные этими законами взаимозависимости и взаимные влияния электрических величин. Вчитываясь в объяснения и всматриваясь в рисунки, вы должны при каждом удобном случае спрашивать себя: «А почему именно так?» — и отвечать себе на все эти «почему?» обстоятельно и точно. Если вы преодолеете эту главу, если поймете существо законов электрических цепей и привыкнете к ним, то можете смело считать, что путь в электронику для вас открыт.

Торжественные слова «закон Кулона», или «Третий закон Ньютона», или «закон Ома для участка цепи» мы часто воспринимаем так, будто бы Кулон, Ньютон и Ом придумали какие-то законы, которым теперь подчиняется природа и которые поэтому нужно учить и знать на экзаменах. В действительности же дело обстоит совсем не так. И вообще в выражении «закон природы» смысл слова «закон» не имеет ничего общего с его привычным, житейским смыслом.

Когда мы говорим «закон», то имеем в виду определенные правила, которые придумали сами люди для того, чтобы упростить и упорядочить какие-то свои отношения. Законы природы никто не придумывает, люди только записывают их под диктовку реальности. Законом природы принято называть подмеченную человеком некоторую общую, одинаковую черту в какой-то группе явлений, некоторые правила, которые действуют в природе только потому, что все в ней устроено именно так, а не иначе. Если бросать с высокой башни камень, медный подсвечник и кусок мыла, то эти разные предметы, падая на землю, будут постепенно ускорять свое движение, причем одинаково — каждую секунду их скорость будет увеличиваться на 9,8 *м/с*. Одинаковое ускорение всех падающих предметов может быть подтверждено в любых других подобных экспериментах, и именно такую одинаковость, разумеется, после того, как она замечена и точно описана, можно называть законом природы.

Закон Ома не относится к числу фундаментальных законов природы. Он рассказывает о довольно узком круге явлений в достаточно скромной системе — в электрической цепи. Рассказывает о том, как электрический ток в этой цепи зависит от действия генератора (э.д.с.) и от свойств самой

цепи (сопротивление). Зависимости эти, утверждает закон Ома, очень просты: ток прямо пропорционален электродвижущей силе генератора и обратно пропорционален сопротивлению цепи (Р-16).

То, что ток должен возрастать с увеличением э.д.с., в принципе понятно, и то, что он должен уменьшаться с ростом сопротивления, тоже не вызывает сомнений. Но заметьте, закон Ома не просто устанавливает характер зависимости, ее качественную сторону, не просто утверждает, что с ростом э.д.с. ток растет, а с ростом сопротивления уменьшается. Немецкий физик Георг Ом полтора столетия назад подметил и описал точную количественную связь между э.д.с., током и сопротивлением. Он подметил, что во сколько раз возрастает э.д.с., во столько же раз возрастает ток; во сколько раз возрастает сопротивление, во столько же раз ток уменьшается. Никаких общих соображений, точно и определенно — «во сколько раз... во столько же раз...». В этой точной количественной связи — главный смысл закона Ома и его важное практическое значение.

Т-32

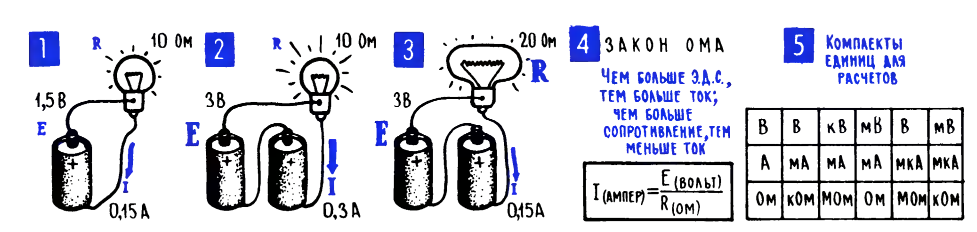
Т-32. Формулы — короткий и удобный способ записи влияния одних величин на другие. Все, о чем говорит закон Ома, можно записать в виде короткого алгебраического выражения, так называемой формулы. Для этого прежде всего введем условные обозначения — э.д.с. обозначим буквой *E*, ток — буквой *I* и сопротивление буквой *R*. Краткая алгебраическая запись, формула закона Ома, приведена на рисунке Р-16;4. Из формулы видно, что ток *I* зависит от двух величин: от электродвижущей силы *E* и сопротивления *R*. В этой зависимости *E* находится в числителе дроби, и, значит, с увеличением *E* ток *I* возрастает. Так записывается прямая зависимость тока *I* от э.д.с. *E*. Величина *R* стоит в знаменателе, а значит, с увеличением *R* ток *I* уменьшается.

Как видите, зависимость, для записи которой словами понадобилась чуть ли не сотня букв, на языке математики записана всего тремя буквами.

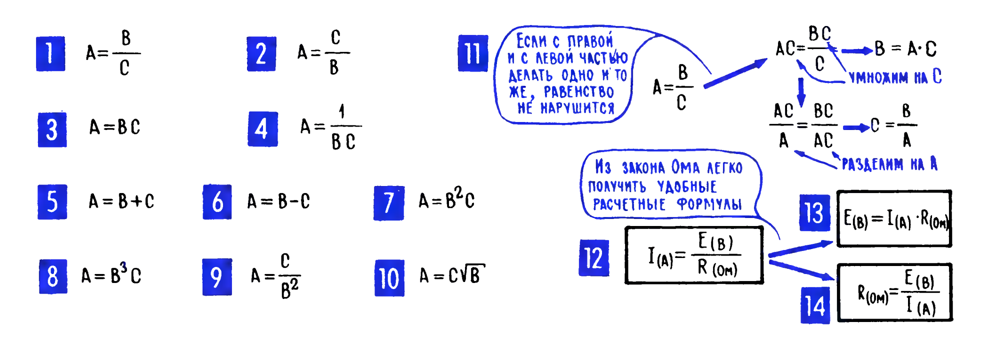
Формула не только очень короткий, лаконичный способ записи различных зависимостей, но еще и удобный способ. Удобство его, во-первых, состоит в том, что, одним взглядом окинув формулу, часто можно сразу же почувствовать, какая величина от какой зависит. И как зависит. Если какая-либо величина в числителе, она работает на увеличение результата (как *E* в формуле закона Ома), если в знаменателе, работает на уменьшение (как *R* в этой же формуле). Извинившись перед читателями, хорошо знающими алгебру, мы сейчас напомним некоторые типичные зависимости одних величин от других. Это микроотступление в математику очень пригодится нам в дальнейшем.

На рисунке Р-17 приведено несколько возможных зависимостей между тремя величинами, обозначенными буквами *A, B* и *C*. Зависимость 1 — точная копия закона Ома: *A* возрастает с увеличением *B* и падает с увеличением *C*. В зависимости 2 все наоборот: величина *C* уже старается увеличить величину *A,* а величина *B* старается ее уменьшить. Зависимость 3 говорит о том, что *A* совершенно одинаково зависит от *B* и *C,* причем с увеличением

Р-16



В	В	кВ	мВ	В	мВ
А	мА	мА	мА	мкА	мкА
Ом	кОм	МОм	Ом	МОм	кОм



любой из них *A* тоже увеличивается. В зависимости 4 обе величины *B* и *C* тоже одинаково влияют на *A*, но, в отличие от предыдущего примера, обе они стоят в знаменателе, и поэтому с ростом *B* и *C* величина *A* уменьшается.

В формуле 5 величина *A* равна сумме *B* и *C*; увеличьте любую из них, и *A* возрастет, правда, не так резко, как в зависимости 3.

А вот в зависимость 6 величина *C* входит со знаком «минус», и чем она больше по абсолютной величине, тем меньше *A*.

Во все предыдущие формулы *B* и *C* входили в первой степени, в следующую формулу 7 одна из них входит во второй степени, в квадрате. Это значит, что *A* особо сильно зависит от *B*: увеличьте *B* в 2 раза, и *A* увеличится в 4 раза, увеличьте *B* в 10 раз, и *A* возрастет в 100 раз.

Зависимость 8 уже не квадратичная, а кубическая: *B* входит в нее в третьей степени и еще сильнее влияет на *A*: если *B* возрастает в 2 раза, то *A* увеличивается в 8 раз, если *B* растет в 10 раз, то *A* — в 1000 раз.

Зависимость 9 тоже квадратичная, но *B* находится в знаменателе и со всей своей силой старается уменьшить *A*.

В формуле 10 влияние величины, попавшей под знак корня, резко уменьшается: величина *B* влияет на *A* значительно слабее, чем в формуле 3: если увеличить *B* в 4 раза, то в зависимости 3 величина *A* возрастет в те же 4 раза, в зависимости 10 — всего в 2 раза.

Мы лишь несколькими словами коснулись нескольких простейших математических зависимостей. Но даже наши простейшие примеры демонстрируют одно из удобств математического языка, показывают, как много важной информации можно легко и быстро извлечь из записей, сделанных в виде формул.

Другое удобство математического языка заключается в том, что, используя известные способы преобразования алгебраических выражений, можно из одной зависимости получить другую, в каком-то отношении более удобную. Причем делается это быстро и, можно сказать, просто, механически, без рассуждений о том, какие конкретные величины обозначены той или иной буквой. И во всех случаях, если делать преобразования правильно и исходная формула верна, новая формула тоже будет правильной.

Разные способы преобразования математических зависимостей глубоко и в большом объеме в течение нескольких лет изучаются в школе, в курсе алгебры. Мы же приведем одно простое правило, которое в некоторых случаях может оказаться полезным для того, чтобы преобразовать какую-нибудь формулу и получить из нее другую, более удобную. Правило это можно изложить так: «Если из формулы, которая показывает, как величина *a* зависит от величины *b*, *c*, *d*, *e* и так далее, вам нужно получить другую формулу, которая показывала бы, как от всех этих величин зависит,

например, величина *b*, то нужно *одновременно с обеими частями формулы* производить любые полезные, по вашему мнению, операции до тех пор, пока величина *b* не будет отделена от всех других величин и не останется в одиночестве». Слова «одновременно с обеими частями формулы» выделены потому, что это важнейшее условие, нарушение которого может привести к совершенно неверному результату.

Т-33

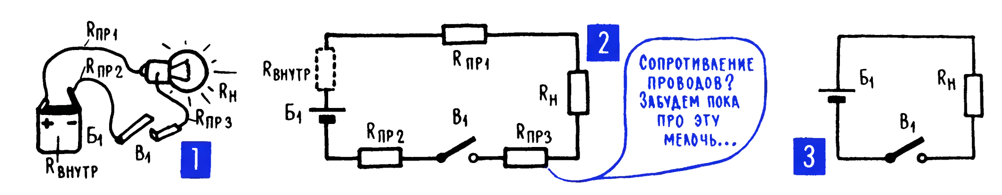
Т-33. Из закона Ома можно получить две удобные расчетные формулы: для вычисления э.д.с. и сопротивления цепи. На Р-17; 11 приведены примеры применения нашего «самодельного» правила для преобразования формул. Пользуясь этим же правилом, можно из формулы закона Ома (Р-16. Р-17; 12) получить две новые формулы (Р-17; 13 и Р-17; 14). Первая получается, если в формуле закона Ома обе части умножить на *R*, вторая — если обе части одновременно умножить на *R* и разделить на *I*. Обе эти формулы получены нами с помощью математических фокусов и физического смысла не имеют, их нельзя читать так, как первую, основную формулу закона Ома: «Ток в цепи зависит от...» и так далее. Действительно, было смешно прочитать вторую формулу так: «Электродвижущая сила зависит от сопротивления цепи...» Электродвижущая сила — это есть характеристика генератора, и от сопротивления цепи она никак не зависит. Но несмотря на все это, полученные нами из закона Ома две новые формулы очень полезны. Это расчетные формулы, которые позволяют при необходимости подсчитать неизвестную э.д.с. *E* по известным *I* и *R* или подсчитать неизвестное сопротивление *R* по известным *E* и *I*.

Т-34

Т-34. Принципиальная схема — чертеж, на котором условными обозначениями показаны элементы электрической цепи и их соединения. До сих пор мы считали, что электрическая цепь состоит всего из двух элементов — из генератора и нагрузки. Но чаще всего такого не бывает. Хотя бы потому, что нагрузка несколько удалена от генератора и в цепи появляется еще один элемент — соединительные провода. По этим проводам электроны идут на работу и с работы (Р-18) и, естественно, теряют в проводах некоторую часть своей энергии. Иными словами, соединительные провода обладают некоторым сопротивлением, которое входит в общее сопротивление цепи и которое иногда необходимо учитывать. Кроме того, некоторым сопротивлением обладает и сам генератор: внутри генератора, между его электродами, тоже идет ток, тоже движутся заряды. Они, как обычно, сталкиваются с атомами среды и, как обычно, теряют какую-то часть энергии. Так что если рисовать полную схему даже самой простой цепи, то в нее нужно включить несколько новых элементов, в которых отражалось бы сопротивление проводов и внутреннее сопротивление генератора.

Можно нарисовать упрощенный чертеж электрической цепи, не вдаваясь в то, как устроен тот или иной элемент, а лишь показав условными знаками, что есть в цепи такие-то элементы и соединены они таким-то образом. Такой чертеж называется принципиальной схемой. Условные обозначения, принятые при составлении принципиальных схем, показаны на К-3 и К-4. Элемент, обладающий электрическим сопротивлением, независимо от того,

Р-18



Р-19

1

l (длина провода)

S (площадь поперечного сечения)

$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$

ρ — удельное сопротивление

2

медный провод

1 Ом

5 Ом

20 Ом

120 Ом

стальной провод

3

$S(мм^2) \approx 0{,}8 \cdot d^2(мм)$

d — диаметр провода

4

НА СХЕМАХ ТАКИЕ СОКРАЩЕННЫЕ ЗАПИСИ:

10,0	это	10 МОм
0,24	это	240 кОм
18 к	это	18 кОм
330	это	330 Ом
27	это	27 Ом

что это за элемент (лампочка, электроплитка, кусок провода), в некоторых случаях на принципиальной схеме изображают в виде небольшого прямоугольника и обозначают латинской буквой *R* (от слова resistans — сопротивление). Этим как бы хотят сказать: «В данном случае для нас важно, что этот элемент оказывает сопротивление току. И ничего больше». В схеме простейшей электрической цепи Р-18 должно быть пять таких элементов: $R_н$ — элемент, отображающий нагрузку, $R_{пр1}$, $R_{пр2}$ и $R_{пр3}$ — сопротивление кусков провода, $R_{внутр}$ — внутреннее сопротивление генератора. Если почему-либо сопротивление проводов учитывать не нужно, то элементы $R_{пр}$ не рисуют (Р-18; 3). Но во всех случаях прямые линии, соединяющие на схеме один элемент с другим, принято считать идеальными проводниками, не имеющими никакого сопротивления.

Т-35

Т-35. Резистор — элемент электрической цепи, основное назначение которого оказывать сопротивление току. Представьте себе такую ситуацию: нужно уменьшить ток в цепи, а генератор при этом трогать нельзя. Что делать? Решение подсказывает закон Ома: нужно увеличить сопротивление цепи, ввести в нее дополнительный трудный участок. Есть детали, основное назначение которых именно в том, чтобы оказывать сопротивление току, они называются резисторами. Сопротивление таких деталей строго дозировано, и почти всегда прямо на самой детали написано, чему оно равно.

Резисторы делятся на две большие группы — проволочные и непроволочные (К-3;1,2). Чем длиннее и чем тоньше провод, которым намотан резистор, тем больше его сопротивление (Р-19). А еще сопротивление зависит от так называемого удельного сопротивления (сопротивление куска провода длиной 1 *м* и диаметром 1 *мм* или сопротивление кубика с ребром 1 *см*), которое характеризует свойство материала (С-3). У некоторых металлов (серебро, медь, алюминий) количество свободных электронов, их подвижность сравнительно велики, и удельное сопротивление у этих металлов не очень большое. У других же (железо, ртуть и особенно некоторые сплавы — нихром, константан) движение свободных зарядов затруднено самой структурой вещества, и удельное сопротивление его сравнительно велико.

Резисторы с большим сопротивлением — килоомы, мегомы — из проволоки изготовить сложно, в них используют тонкие токопроводящие пленки, нанесенные на керамическую трубочку (К-3; 2).

Особое место занимают переменные резисторы, или, иначе, резисторы переменного сопротивления (К-3; 3),— их сопротивление можно менять, перемещая подвижный контакт и изменяя тем самым ту часть резистора, которая включена в цепь (Р-26; 5).

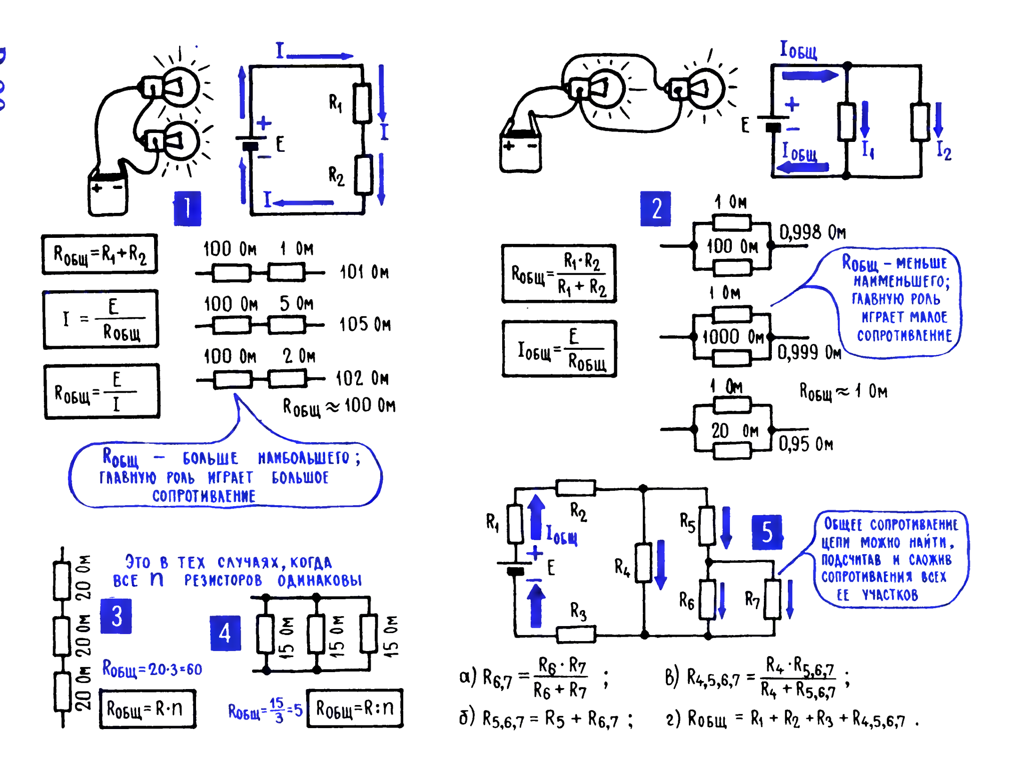
Т-36

Т-36. Сложная электрическая цепь — система из последовательно и параллельно соединенных элементов. Уже попытка нарисовать реальную схему карманного фонаря приводит к сравнительно сложной цепи из семи

последовательно соединенных элементов (Р-18). На практике же приходится иметь дело с цепями более сложными, и значительно более сложными. Что такое, например, телевизор? Это тоже электрическая цепь, но состоящая из сотен или тысяч элементов, сложным образом соединенных между собой. А вычислительная машина? Цепь из тысяч или миллионов элементов. Даже простенький карманный приемник представляет собой электрическую цепь, в которой десятки деталей соединены сложным образом и подключены к общему генератору — гальваническому элементу или аккумулятору.

Рассматривать сложные и очень сложные электрические цепи сразу целиком, к счастью, почти никогда не приходится. В большой, сложной машине, как правило, можно выделить самостоятельные узлы и агрегаты. В автомобиле, например, это двигатель, коробка перемены передач, передний мост, задний мост, рулевое управление, тормозная система... В сложной электрической цепи, как правило, тоже можно выделить свои узлы и блоки. Каждый из них представляет собой самостоятельную сложную цепь, но состоящую уже не из сотен и даже не из десятков, а чаще всего из нескольких элементов. С некоторыми такими простыми цепями мы сейчас познакомимся. При этом отвлечемся от того, какие элементы входят в цепь, и будем считать, что она состоит из генератора (для конкретности — гальванического элемента) и нескольких различным образом соединенных резисторов.

Начнем с цепи с последовательным соединением резисторов (Р-20;1). Ее общее сопротивление равно сумме всех сопротивлений: ток последовательно проходит по всем участкам цепи, и «препятствия», которые он встречает в каждом участке, в итоге суммируются. Из двух последовательно



соединенных резисторов главный тот, чье сопротивление побольше, он в основном определяет общее сопротивление.

По всем элементам последовательной цепи идет один и тот же ток: если бы по двум соседним резисторам шел разный ток, то к месту их соединения приходило бы больше свободных зарядов, чем ушло, или, наоборот, уходило бы больше зарядов, чем пришло. Ни то, ни другое невозможно. В первом случае заряды непрерывно накапливались бы в месте соединения резисторов, во втором — это место должно было бы быть неистощимым поставщиком зарядов.

При параллельном соединении элементов цепи их общее сопротивление меньше любого из сопротивлений (Р-20; 2): если параллельно какому-

С-3. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

В первой таблице приведены вещества, для которых удельное сопротивление ρ принято указывать как сопротивление проводника (в омах) длиной 1 *м* и сечением в 1 *мм*^{2} (диаметр проводника около 1,13 *мм*).

Серебро	0,0147—0,0175	Латунь	0,02
Медь	0,0154—0,0175	Никелин	0,42
Алюминий	0,0262—0,0278	Константан	0,49
Сталь	0,07—0,138	Чугун	0,4—0,5
Ртуть	0,95—0,96	Нихром	1—1,1
Вольфрам	0,05—0,06	Уголь (графит)	7,5

Во второй таблице приведены вещества, для которых удельное сопротивление принято указывать как сопротивление кубика (в омах) с ребром 1 *см* (см. Р-77).

Бумага кабельная	10^{11} — 10^{14}	Картон	10^{10} — 10^{12}
Дерево парафинированное	10^3 — 10^4	Чернозем	10^3 — $2 \cdot 10$
Каучук	10^{14} — 10^{16}	Раствор нашатыря 5%	11
Кварц плавленый	10^{16}	Раствор поваренной соли 5%	15
Масло трансформаторное	10^{12} — 10^{13}	Раствор поваренной соли 25%	4,7
Песок	10^4 — 10^5	Чистый германий	50
Стекло	10^{11} — 10^{15}	Чистый кремний	10^6
Фарфор	10^{14} — 10^{15}	Медь	$1,75 \cdot 10^{-6}$
Уголь (графит)	$7,5 \cdot 10^{-4}$		

Примечание 1. Все значения приведены для температуры +20 °С, при нагревании сопротивление большинства веществ, приведенных в таблицах, увеличивается, в частности, сопротивление серебра, меди, алюминия и вольфрама растет примерно на 0,4—0,45% при нагревании на каждый градус; сопротивление константана, угля, растворов солей и кислот при нагревании несколько уменьшается.

Примечание 2. Никелин — сплав меди, цинка, никеля и железа; константан — сплав меди и никеля; нихром — сплав хрома, никеля и железа.

нибудь резистору подключить другой резистор, то откроется дополнительный обходной путь для зарядов и двигаться им будет легче. Чтобы подсчитать сопротивление двух элементов цепи, соединенных параллельно, нужно произведение их сопротивлений разделить на их сумму. При параллельном соединении двух резисторов главный тот, чье сопротивление поменьше, именно он в основном определяет общее сопротивление (Р-20; 2). Подойдя к параллельно соединенным элементам цепи, поток свободных зарядов разветвляется — бо́льшая часть тока идет по меньшему сопротивлению, так же примерно, как в разветвляющемся трубопроводе бо́льшая часть потока пойдет по более широкой трубе. Сумма тока в параллельных ветвях равна току до разветвления и току после разветвления (Р-23; 3). Общий ток любой сложной цепи, как бы он в этой цепи ни разветвлялся, определяется общим количеством зарядов, которое двигает генератор. Этот общий ток подсчитывается по формуле закона Ома, в которую, естественно, уже входит общее сопротивление всей цепи. Общее сопротивление сложной цепи, в которой есть и параллельные и последовательные участки, можно подсчитать постепенно, шаг за шагом, например, сначала определить общее сопротивление параллельного участка и затем сложить его со всеми последовательными сопротивлениями (Р-20; 5).

Т-37. Напряжение на участке цепи можно рассматривать как часть э.д.с., доставшуюся этому участку. Чтобы глубже понять то, что происходит в электрической цепи, можно привлечь на помощь силу воображения и мысленным взором просматривать кинофильмы с участием легких и быстрых пылинок-электронов, неповоротливых тяжелых ионов, неподвижных атомов, невидимых электрических полей и других положительных и отрицательных героев. Конечно, такие кинофильмы будут страшным упрощением истинной картины, но это не должно бросать тень на их учебную полезность (Т-8). Ведь мы понимаем, что чертеж — это упрощение реальной машины, но вместе с тем прекрасно пользуемся чертежами, чтобы понять, как эта машина устроена.

Мысленно заглядывая во внешнюю электрическую цепь (нагрузка и соединительные провода), вы рано или поздно наткнетесь на вопрос: а где, собственно говоря, эта внешняя цепь начинается, где проходит ее граница с генератором? Это не в смысле геометрических форм, а в смысле электрического состояния. Мы знаем, что на электродах генератора скопились избыточные заряды, они-то и создают электродвижущую силу. Известно также, что в куске провода как таковом избыточных зарядов нет, свободных электронов в нем ровно столько же, сколько и покинутых ими атомов, положительных ионов. Так, может быть, граница между электродами генератора и внешней цепью — это своего рода электрический обрыв, пропасть? Может быть, на электродах есть скопление зарядов и они ни на шаг не выходят за пределы электрода? А что же тогда будет, если и электроды и проводник сделать из одного и того же материала и соединить сваркой? Как в этом случае заряды узнают, где кончается электрод и начинается провод, где именно проходит та граница, через которую переступать нельзя?

А как представить себе те «пограничные войска», которые смогут удержать избыточные заряды в пределах электрода?

И еще одно сомнение: если избыточные заряды не выходят за пределы генератора, то, значит, электрическое поле, которым генератор, собственно говоря, и подталкивает свободные электроны (Т-8), должно доставать до любой, даже самой удаленной точки цепи... А если генератор находится

в Москве и к нему проводами подключена нагрузка, которая находится во Владивостоке?

Рассказывают, что однажды Наполеон приехал в артиллерийскую часть, которая накануне подвела его в очень важном сражении, и спросил тамошних командиров: «Вы почему же, такие-сякие, вчера в самый ответственный момент перестали стрелять?» — «У нас на то было,— отвечали артиллеристы,— восемнадцать причин».— «Ну-ка, давайте выкладывайте, называйте свои причины».— «Во-первых, у нас не было снарядов, во-вторых...» — «Стоп, хватит,— прервал артиллеристов Наполеон,— дальше рассказывать не нужно. Все остальное уже не имеет значения...»

Этим рассказом обычно хотят подчеркнуть, что во всяком деле есть стороны более важные и менее важные и есть самые важные, принципиально важные, такие, что если их не учитывать, то «все остальное уже не имеет значения». Одна из чрезвычайно важных особенностей всякой электрической цепи — это то, что ток во всех ее участках одинаков; при разветвлении имеется в виду сумма тока в ветвях (Р-26; 6, 7). Другая принципиально важная особенность цепи связана с вопросом, который мы только что пытались обсуждать: где фактически заканчивается область со- скоплением избыточных зарядов, где кончаются электроды генератора?

Разобраться в этом нам поможет довольно простая аналогия: захватив санки, мы заберемся на высокую снежную гору и, на время забыв об электрических цепях, прокатимся вниз (Р-21; 2, 3, 4).

Прокатимся? Возможно... Но только не в этот раз. Мы подходим к краю снежной горы и вместо покатого склона видим резкий обрыв, затем совершенно ровное снежное плато и опять обрыв. О том, чтобы прокатиться на санках с такой горки, и речи быть не может, с нее можно только упасть.

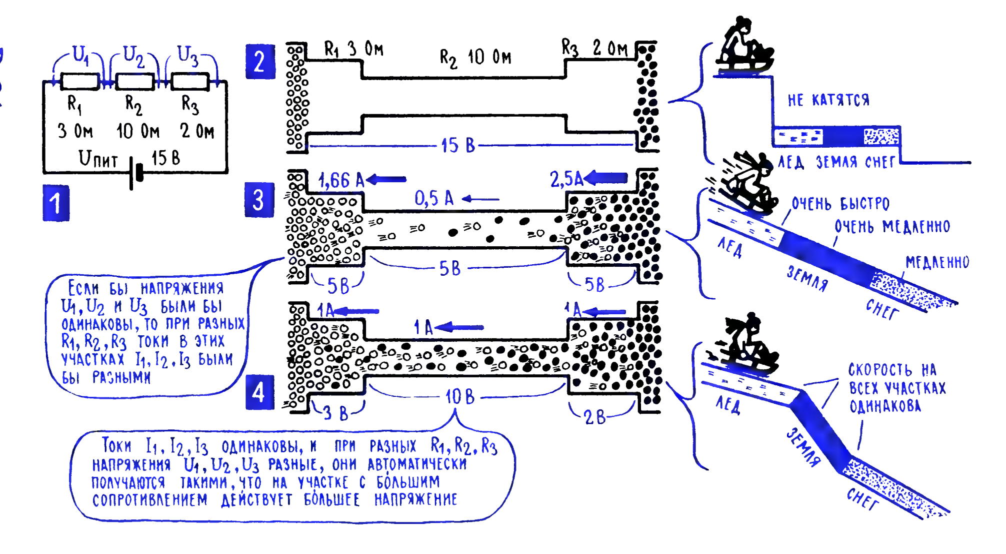
Находим другой спуск, на этот раз очень пологий и ровный, без единого бугорка или впадины. Но при внимательном рассмотрении оказывается, что и этот спуск не очень-то хорош для катания на санках: участки рыхлого снега чередуются на нем с гладким, блестящим льдом и с голой оттаявшей землей. По такой дорожке санки будут двигаться рывками — по льду они мчатся быстро, по рыхлому снегу им двигаться труднее, а на голой земле могут совсем остановиться.

После долгих поисков находится, наконец, горка хорошая во всех отношениях. На ней, правда, как и на предыдущей, тоже чередуются лед, снег и оттаявшая земля, но наклон этих разных участков тоже разный: там, где лед, дорога пологая, где снег, она идет несколько более круто, а там, где появилась голая земля, спуск совсем крутой. Одним словом, там, где санкам трудней двигаться, там спуск круче.

Три придуманные нами горки иллюстрируют три варианта распределения избыточных зарядов в электрической цепи (Р-21; 2, 3, 4). Первый вариант: все избыточные заряды, появившиеся в генераторе, сконцентрированы на его электродах. Этот вариант уже забракован нами: в замкнутой цепи не может быть электрического обрыва. Второй вариант — избыточные заряды после подключения цепи равномерно распределяются по всем ее участкам, и свободные электроны, создающие ток, подталкиваются на всем своем пути с одинаковой силой. Но такое тоже невозможно: на участках с разным сопротивлением свободные электроны в этом случае двигались бы с разными скоростями, подобно санкам, спускающимся со второй нашей горки. То есть в последовательной цепи на участках с разным сопротивлением шел бы разный ток, чего, конечно, быть не может.

От неудачного второго варианта остается всего один шаг до следующе-

Р-21



го, третьего, который в точности соответствует действительности. Знакомство с этим третьим вариантом мы начнем с прокручивания очередного учебного кинофильма.

Представьте, что мы движемся вдоль последовательной электрической цепи и всякий раз берем из нее пробу вещества, подобно тому, как геолог берет для химических анализов пробу грунта. Начнем с «минуса» генератора, с отрицательного электрода.

В пробе, взятой из него, естественно, обнаружится избыток отрицательных зарядов, ну, скажем, лишняя тысяча электронов (эта цифра, как и все последующие,— чистая выдумка, цифры подобраны так, чтобы пояснить суть дела, его качественную сторону). Движемся в сторону положительного электрода и еще раз берем пробу, на этот раз уже в соединительном проводнике. Здесь избыток отрицательных зарядов несколько меньше — в том месте, где проводник соединяется с нагрузкой, с лампочкой, в пробе оказалось 990 электронов. Как видите, разница в количестве избыточных зарядов на концах соединительного провода невелика — на одном его конце всего на 10 зарядов больше, чем на другом.

А вот пройдя по нити лампочки, мы обнаружим большое различие в количестве избыточных электронов — на одном конце нити их, как мы только что установили, 990, а на другом оказывается уже 590 — разница в 400 избыточных электронов. Двигаясь дальше, мы в какой-то момент обнаружим участок цепи, где избыточных электронов вообще нет, а затем начнут появляться избыточные положительные заряды, положительные ионы самого металла. По мере продвижения к «плюсу» количество избыточных положительных зарядов будет все возрастать и на положительном электроде достигнет своего максимума — 1000 лишних ионов в каждой пробе.

Учебный фильм «Путешествие вдоль электрической цепи» так же, как и наш третий вариант санного спуска (крутизна отдельных участков тем больше, чем больше трение по их поверхности), иллюстрирует точно установленный порядок распределения избыточных зарядов. До тех пор, пока генератор находится в одиночестве, избыточные заряды сконцентрированы только на его электродах. Но подключите к генератору внешнюю цепь, и продукция генератора — избыточные заряды — появится во всей цепи, рас-

пределится по различным ее участкам. Но неравномерно. Заряды автоматически распределятся так, что на участок с бóльшим сопротивлением придется большее их количество. А это значит, что чем больше сопротивление участка, тем сильнее будут проталкиваться через него свободные электроны. И в итоге получится, что во всех участках, независимо от их сопротивления, установится одинаковый ток. Так же как может установиться одинаковая скорость движения саней на горке с разным покрытием (лед, снег, земля) и с разной крутизной спуска.

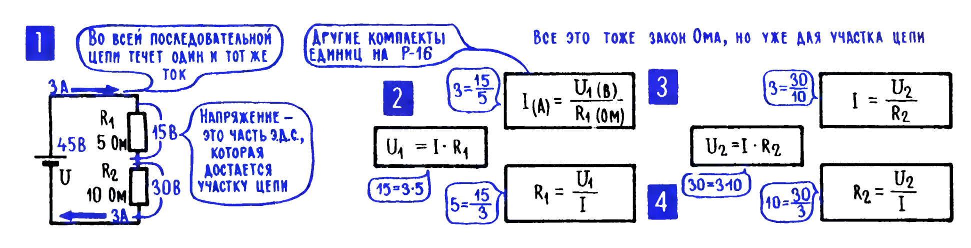
Хочется обратить особое внимание на слово «автоматически». Скопление зарядов на разных участках цепи регулируется самим током. Если вдруг в какой-нибудь точке избыточных зарядов станет чуть больше или чуть меньше, например, потому, что по каким-то причинам сопротивление одного из участка цепи изменилось, ток тут же на мгновение изменится и исправит нарушение баланса, добавит немного зарядов или убавит. Причем всегда с таким расчетом, чтобы восстановить свое неизменное значение во всей цепи.

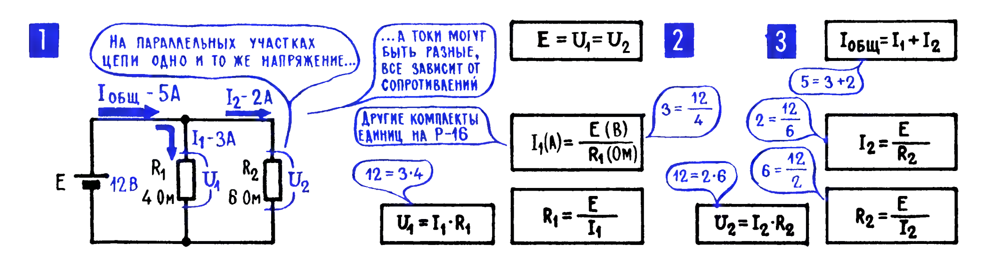
Теперь мы должны другими глазами взглянуть на электрическую цепь, по которой идет ток. На каждом участке такой цепи, а не только на электродах генератора, есть избыточные заряды, а значит, между любыми двумя точками цепи действует электродвижущая сила. Конечно же, первопричина всех этих местных электродвижущих сил — генератор. Именно в нем за счет других видов энергии (свет, тепло, химические реакции, механическая работа) происходит электризация атомов, накапливаются избыточные электроны или положительные ионы. Но в итоге все избыточные заряды, вся электрическая энергия, вырабатываемая генератором, распределяется между участками цепи. А могло ли быть иначе? Нужно же как-то двигать свободные заряды по этим участкам, создавать в них ток...

Ту часть э.д.с., которая достается какому-либо участку цепи, принято называть напряжением на этом участке и обозначать буквой U (Р-21. Р-22).

Как уже несколько раз подчеркивалось, разница в избыточных зарядах на концах какого-либо участка последовательной цепи автоматически оказывается тем больше, чем больше сопротивление этого участка. То есть, иными словами, напряжение на участке цепи пропорционально сопротивлению участка. Ну, а кроме того, по абсолютной величине это напряжение тем больше, чем больше сама э.д.с.,— если делить на несколько человек большой каравай хлеба, то каждому достанется больше, чем если бы делить маленькую булочку (Р-26; 2). И еще — между током I, напряжением U на участке и сопротивлением R действуют соотношения закона Ома, в этом случае их называют законом Ома для участка цепи (Р-22; 2,3,4. Р-23).

Если отвлечься от того, что происходит во всей последовательной цепи, и рассматривать только события на одном ее участке, то из формулировок закона Ома наиболее удобной становится такая: напряжение на участке цепи тем больше, чем больше его сопротивление и чем больший ток по нему идет (Р-22; 2). Вот в этом самом «...чем больший ток по нему идет» отражены сразу все сложные взаимные связи между элементами цепи. В част-





ности, отражено то, что на напряжение влияет э.д.с. генератора: чем она больше, тем больше ток в цепи и, значит, напряжение во всех ее участках.

Местная э.д.с., то есть напряжение на участке цепи (часто говорят — «падение напряжения»), это не выдумка, помогающая что-то объяснить или подсчитать. Это реальность. Причем настолько реальность, что к любому участку цепи, как к генератору, можно подключить свою нагрузку и образовать свою местную цепь в большой общей цепи. При подключении такой местной нагрузки, как при всяком параллельном подключении, несколько уменьшится общее сопротивление этого участка, а значит, и реально действующее на нем напряжение.

Напряжение, так же как и э.д.с., говорит о той энергии, с которой проталкивается каждый кулон свободных электрических зарядов (а если строго — о той работе, которую он выполняет), но, конечно, уже по какому-либо участку, а не по всей цепи. Поэтому напряжение, так же как и э.д.с., измеряется в вольтах. Очевидно, что общая работа, выполняемая единичным зарядом во всей цепи, равна сумме работ, выполненных на отдельных ее участках, то есть э.д.с. равна сумме всех напряжений на участках цепи (Р-26; 2).

Т-38. Вольтметр, амперметр и омметр — приборы для измерения э.д.с. (напряжения), тока и сопротивления. Напряжение на участке цепи, сопротивление участка и ток, который проходит по этому участку, можно подсчитать по одной из формул закона Ома (Р-22. Р-23). А можно и измерить. Несколько позже мы узнаем о том, как устроены приборы для измерения напряжения (э.д.с.) и тока — вольтметр и амперметр (Т-290). Пока же будем считать, что вольтметр как-то измеряет разницу между количеством избыточных зарядов в двух участках цепи, определяет, каких зарядов и где больше, и насколько. И тут же вычисляет, какую работу выполнит каждый кулон электричества при такой разнице концентрации зарядов. Результаты измерений и вычислений прибор выдает сразу в вольтах, за что он и получил название вольтметр. Подключается вольтметр к тем двум точкам, напряжение между которыми нужно измерить (Р-24; 1). При этом важно выполнить такое условие: собственное сопротивление вольтметра должно быть во много раз больше, чем сопротивление, к которому он подключен. Вольтметр с недостаточно большим сопротивлением может заметно уменьшить общее сопротивление участка, а значит, и напряжение на этом участке, и в итоге прибор покажет меньшее напряжение, чем было до его подключения (Р-24; 2).

Амперметр — это своего рода счетчик движущихся зарядов со встроенным секундомером. Подсчитав количество зарядов, которые проходят по цепи за одну секунду, прибор показывает величину тока сразу в амперах, за что он и получил название амперметр. Прибор включается последовательно в цепь, в которой нужно измерить ток (Р-24; 3). Собственное сопротивление амперметра должно быть во много раз меньше, чем общее сопротивление цепи, иначе он сам заметно изменит общее сопротивление цепи и покажет ток значительно меньший, чем был до его включения (Р-24; 4).

Омметр можно представить себе как комбинированный прибор, который одновременно измеряет напряжение и ток и сразу же по формуле закона Ома вычисляет сопротивление (Р-24; 5). Возможен и более простой вариант: элемент цепи, сопротивление которого нужно измерить, подключается к генератору, э.д.с. которого известна, и тогда омметр определяет сопротивление только по величине тока (Р-24; 6).

Т-39

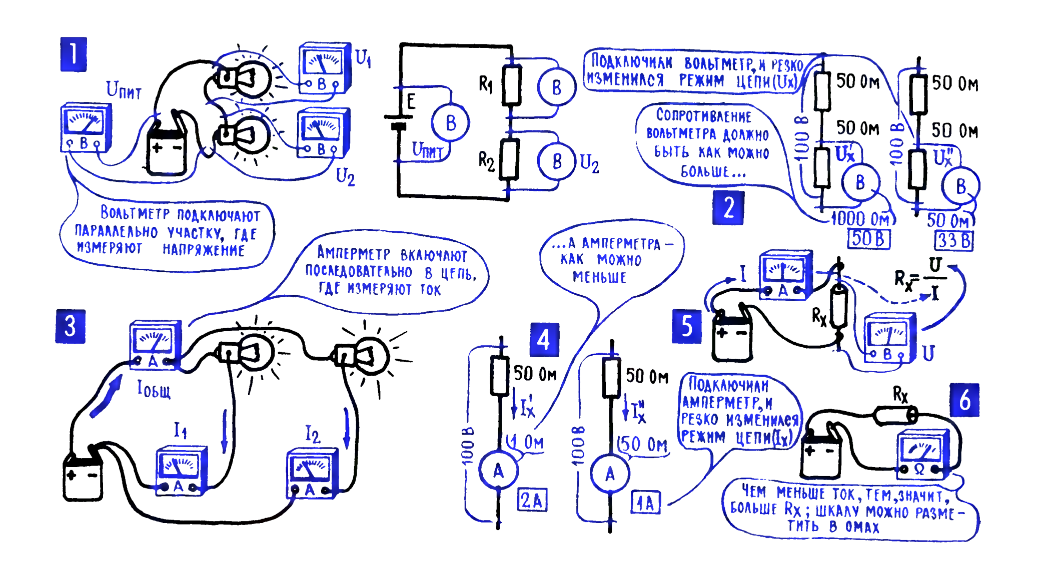
Т-39. Чем больше потребляемый ток, тем меньше напряжение на выходе генератора. Внутреннее сопротивление генератора $R_{внутр}$ — такой же элемент цепи, как и все остальные. И на нем так же, как и на других участках, создается какое-то напряжение (Р-25). При этом всей внешней цепи теперь уже достается напряжение несколько меньшее, чем э.д.с., меньшее как раз на величину внутреннего падения напряжения. Если увеличится потребляемый от генератора ток, то в полном согласии с законом Ома увеличится и внутреннее падение напряжения в генераторе, а значит, уменьшится напряжение $U_г$ на выходе генератора (Р-25; 3, 4). Чтобы изменение нагрузки как можно меньше влияло на выходное напряжение генератора, его внутреннее сопротивление стараются свести к минимуму.

Кстати, напряжение на выходе батарейки уменьшается и при ее старении, так как со временем увеличивается $R_{внутр}$ (Р-25; 4).

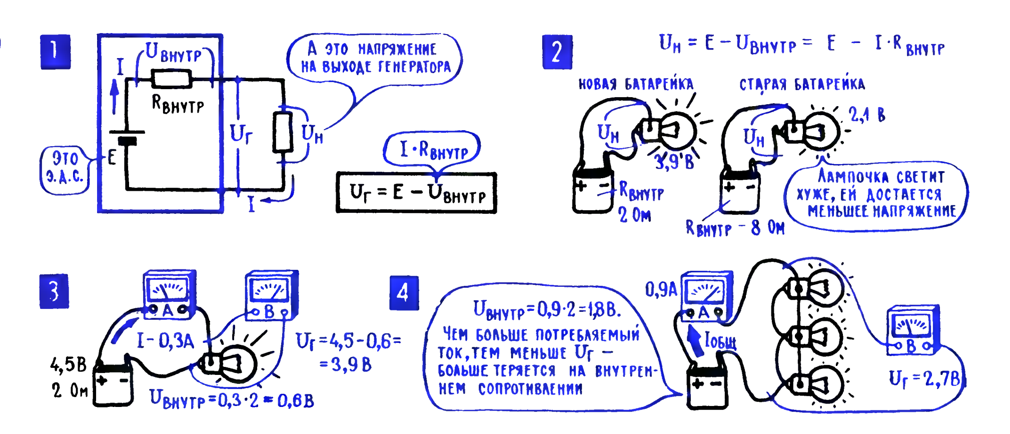
Т-40

Т-40. Последовательная цепь — делитель напряжения, параллельная — делитель тока. Можно так подобрать элементы последовательной цепи, чтобы на каком-нибудь из них получить напряжение, по сравнению с исходным уменьшенное во сколько угодно раз (Р-26; 1,2). Чем меньшую часть исходного напряжения мы хотим получить и подать на нагрузку, тем меньше должно быть сопротивление участка, с которого оно снимается. Кроме того, сопротивление участка делителя, с которого снимается напряжение, должно быть значительно меньше, чем сопротивление нагрузки, которая к этому участку будет подключена (Р-26; 3). Иначе подключение нагрузки изменит сопротивление всего участка и напряжение на нем снизится. В одной из разновидностей делителя частью его является сама нагрузка (Р-26; 4). В этом случае второе сопротивление делителя, то, на котором гасится избыток напряжения, называют гасящим сопротивлением. Еще одна разновид-

Р-24



Р-25



ность делителя — с резисторами переменного сопротивления (Р-26; 5), с помощью которых можно плавно менять напряжение.

Подключив резистор параллельно нагрузке, можно уменьшить идущий в нее ток (Р-26; 6). Резистор, который мы включили для ответвления лишнего тока, называется шунтом («шунт» в переводе на русский — обходной путь), а сам процесс уменьшения тока с помощью шунта называют шунтированием. Чем меньше сопротивление шунта, тем бо́льшая часть тока пойдет в него и меньшая — в нагрузку.

Т-41

Т-41. Электрическая мощность — произведение напряжения на ток; единица измерения мощности — *ватт*. С одной стороны, мы знаем, что мощность — это работа, выполненная за единицу времени, и что единица измерения мощности — ватт соответствует работе в 1 джоуль за 1 секунду (Т-29). С другой стороны, напряжение — это есть работа, которую выполняет в электрической цепи каждый кулон движущихся зарядов, а ток — число кулонов, которое проходит по цепи каждую секунду (Т-30). Отсюда следует, что мощность, потребляемая участком цепи,— это произведение тока на напряжение, произведение числа кулонов в секунду на число джоулей, которое нарабатывает каждый кулон (Р-27). Мощность возрастает и с увеличением напряжения, и с увеличением тока.

Если неизвестен один из сомножителей в формуле мощности (ток или напряжение), можно определить его по одной из формул закона Ома (Р-22;2,3). И тогда получатся две новые формулы для подсчета мощности (Р-27; 2, 3). Они поясняют, что при неизменном сопротивлении участка R выделяемая в нем мощность P связана с током I или напряжением U квадратичной зависимостью (Р-27; 4, 5): при увеличении тока в два раза мощность возрастет в четыре раза; повышение напряжения в пять раз увеличит мощность в двадцать пять раз.

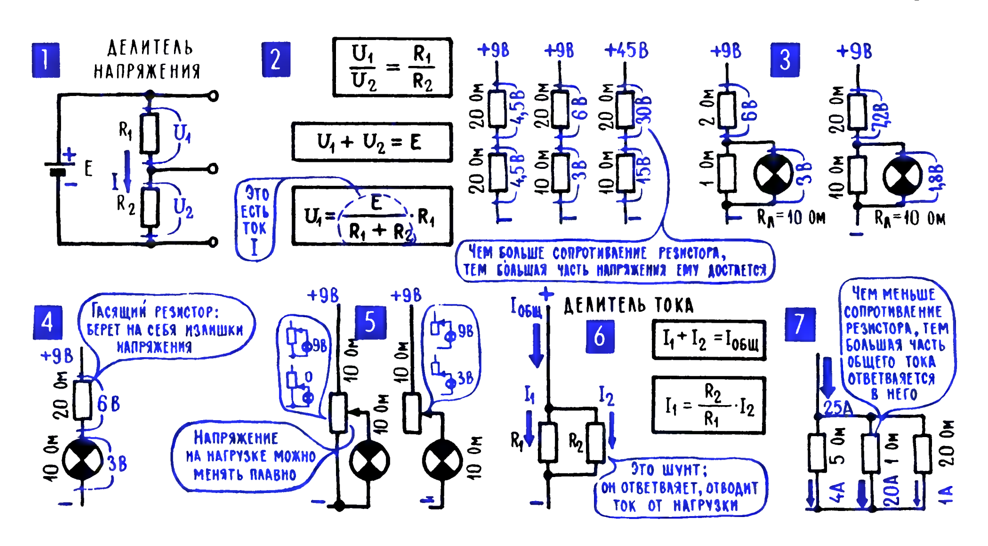
Здесь нет никакого противоречия с тем, что говорит первая формула для подсчета мощности ($P = U \cdot I$). Потому что с увеличением тока в цепи всегда возрастает напряжение на участке и, значит, увеличение тока сразу по двум каналам, двумя «рычагами», влияет на мощность: само по себе (растет число кулонов в секунду) и повышая напряжение (растет работоспособность каждого кулона). Напряжение также двумя «рычагами» влияет на мощность: если увеличить напряжение на участке цепи, не меняя его сопротивления, то при этом сразу же мощность поднимется за счет увеличения работоспособности каждого заряда, и еще она увеличится потому, что с ростом напряжения возрастет и ток, увеличится число работающих кулонов.

Сама эта характеристика — «мощность» — может относиться и к генератору, и к нагрузке, и к любому другому элементу цепи. Мощность генератора говорит о том, какое количество работы он может выполнить в электрической цепи каждую секунду. Мощность, которая указана на пассивных элементах электрической цепи, на потребителях энергии,— это то, что́ в нормальном режиме может переварить этот элемент. Например, если на лампочке написано «100 *Вт*», это значит, что каждую секунду она может превращать в свет (и, к сожалению, в тепло) 100 джоулей электрической энергии. А если подвести к такой лампочке бо́льшую мощность, увеличив, например, напряжение на ней, то лампочка просто выйдет из строя: количество тепла, выделяемого в ней, возрастет и температура нити превысит расчетную величину.

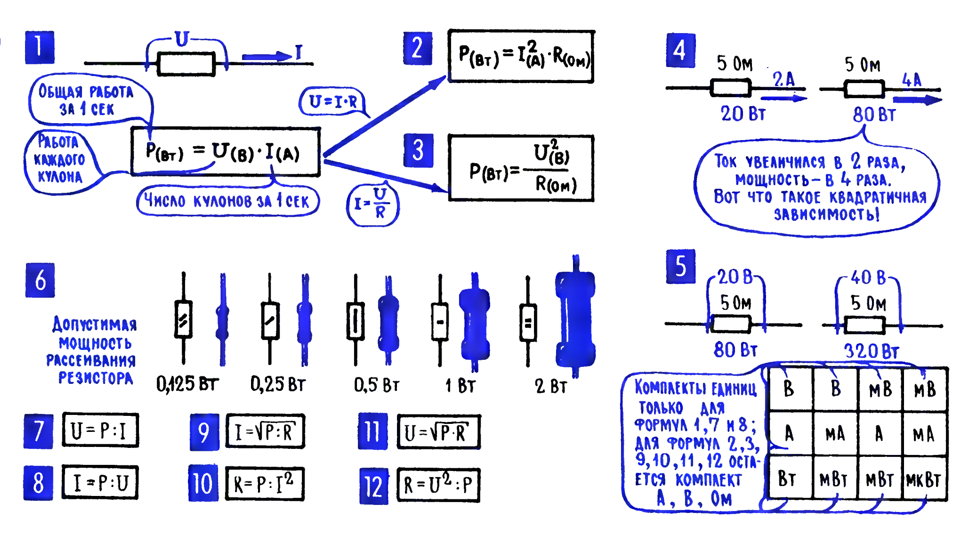
Мощность, указанная на корпусе резисторов, также предостерегает от нарушения теплового режима (Р-27; 6): если превысить допустимую мощность, резистор может перегреться, его проводящий слой разрушится (это заметно внешне — чернеет окраска корпуса) и деталь выйдет из строя. На схемах допустимую мощность резисторов указывают условными знаками. Если же условного знака нет, то, значит, в данной цепи на резисторе выделяется ничтожно малая мощность и можно применять деталь любого типа.

Т-42. Условное направление тока от «плюса» к «минусу». В цепи, где есть жидкий или газообразный проводник, можно наблюдать движение зарядов в нем одновременно в двух противоположных направлениях — свободные электроны идут от «минуса» к «плюсу», положительные ионы — от «плюса» к «минусу» (Р-28; 1). Во многих случаях при тепловом действии тока, например, это не имеет значения — куда бы ни двигался заряд, он делает свое дело, работает. Более того, рассматривая схемы электрических цепей, как правило, совсем не нужно знать подробности, не нужно знать, какие именно заряды создают ток: электроны, положительные ионы или те и другие одновременно. Поэтому, рассматривая схемы, обычно забывают о конкретных носителях заряда и представляют себе, что ток создается только одним сортом частиц, а именно положительно заряженными частицами. Т-42

Это, может быть, и несправедливо, потому что в большинстве реальных цепей ток создается электронами, отрицательно заряженными частицами. Однако исторически получилось так, что главными были названы положительные частицы: в то время не имели представления об электронной при-



Р-27



роде тока в проводниках. И теперь нам ничего другого не остается, как считать, зачастую вопреки истине, что ток создают не электроны, а какие-то положительно заряженные шарики и что, конечно же, идет такой ток от «плюса» к «минусу». Тому, кто будет испытывать в связи с этим неудобства, ощущать внутренние протесты, можно предложить два утешения. Во-первых, условное направление тока — это не более чем условное направление тока, мы пользуемся им в основном тогда, когда нужно водить пальцем по схеме, а при этом в реальной цепи жизнь идет своим чередом. Во-вторых, рассматривая электрическую цепь и считая, что в ней от «плюса» к «минусу» двигаются положительные «шарики», мы получим точно те же результаты (те же величины токов и напряжений, те же полярности напряжений), как и в том случае, если бы считали, что ток создают электроны и идут они от «минуса» к «плюсу» (Р-28; 2, 3).

Т-43

Т-43. Конденсатор — устройство для накопления электрических зарядов. Если расположить одну над другой две металлические пластины и на короткое время подключить их к генератору, то на пластинах накопится какое-то количество зарядов и они будут оставаться там довольно долго. То, что заряды не уходят с пластин, можно упрощенно объяснить так: пластины эти находятся близко, и разноименные заряды своими электрическими полями притягиваются друг к другу и не дают друг другу уйти с пластин. Такой пластинчатый накопитель зарядов называют конденсатором (Р-29; 1) и на схемах обозначают буквой *С* (от слова capacitor — накопитель). Конденсаторы различаются формой пластин и веществом (изолятором), которое находится между ними. Обкладки конденсатора — так часто называют его пластины — выполняют в виде дисков, вставленных друг в друга трубок, свернутых в спираль металлических лент (К-3).

Т-44

Т-44. Емкость конденсатора характеризует его способность накапливать заряды; единица измерения емкости — *фарада*. Количество зарядов, которое накапливается на конденсаторе, зависит от того, каким напряжением его заряжали: чем больше это напряжение, тем больший заряд оно втолкнет на пластины при прочих равных условиях. А еще количество накопленных зарядов зависит от свойств самого конденсатора. О его способности накапливать заряды говорит особая характеристика — емкость конденсатора. Единица электрической емкости — *фарада,* такая емкость будет у некоторого услов-

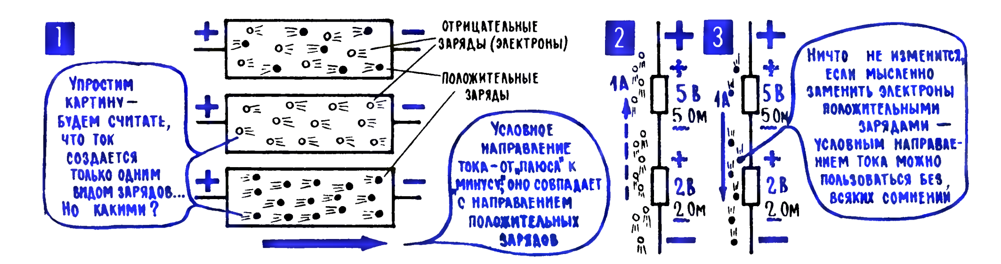
ного конденсатора, в котором под действием зарядного напряжения 1 вольт накопится заряд в 1 кулон (Р-29; 5). Емкость конденсатора тем больше, чем больше площадь его пластин (иногда для увеличения этой площади делают конденсаторы с большим числом параллельно соединенных пластин) и чем меньше расстояние между ними (чем ближе пластины, тем сильнее притягивающее поле одной из них действует на заряды, которые находятся на другой). Кроме того, емкость определяется свойствами вещества между пластинами. О них говорит характеристика вещества, которая называется диэлектрической постоянной ε (С-5): чем она больше, тем, при прочих равных условиях, больше емкость. Так, например, если воздушный конденсатор (между пластинами — воздух) поместить в масло, то его емкость увеличится в два-три раза: ε масла в два-три раза больше, чем воздуха.

Особое место занимают электролитические конденсаторы, у которых много общего с химическими источниками тока. В электролитических конденсаторах под действием приложенного постоянного напряжения происходят определенные электрохимические процессы, благодаря которым резко

С-4. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕДНОГО ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА В ЭМАЛЕВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Диаметр (*мм*)	Сечение (*мм*^{2})	Вес 100 *м* (*г*)	Сопротивление 1 *м* при 20 °C (*Ом*)	Допустимый ток при норме 2 *А*/*мм*^{2} (*А*)	Допустимый ток при 3 *А*/*мм*^{2} (*А*)	Число витков на 1 *см*^{2} сечения обмотки
0,05	0,002	1,8	9,29	0,004	0,006	18 000
0,08	0,005	4,6	3,63	0,01	0,015	8200
0,1	0,008	7,3	2,23	0,016	0,024	5700
0,12	0,011	10,4	1,55	0,02	0,03	4000
0,14	0,015	14	1,14	0,03	0,05	3200
0,16	0,02	18,3	0,87	0,04	0,06	2500
0,18	0,025	23,1	0,69	0,05	0,08	2070
0,2	0,031	28,5	0,56	0,06	0,09	1700
0,25	0,049	44,5	0,36	0,1	0,15	1140
0,31	0,075	68,8	0,23	0,15	0,22	750
0,35	0,096	87,4	0,18	0,2	0,3	580
0,41	0,132	120	0,13	0,26	0,4	440
0,44	0,152	138	0,115	0,3	0,45	390
0,49	0,188	171	0,093	0,4	0,6	310
0,55	0,238	215	0,074	0,48	0,72	260
0,64	0,321	291	0,055	0,65	1,0	190
0,8	0,503	445	0,035	1,0	1,5	125
1,0	0,785	707	0,022	1,5	2,2	85
1,2	1,31	1022	0,0155	2,6	4,0	60
1,56	1,9	1712	0,0092	3,8	6,0	35
2,02	3,2	2875	0,0055	6,5	9,5	—

Р-28



увеличивается емкость. Поэтому электролитические конденсаторы включают в цепь таким образом, чтобы на них действовало постоянное напряжение. Причем в определенной полярности: тот вывод конденсатора, возле которого стоит знак «+», обязательно должен быть подключен к «плюсу» источника, тот, где указан «—», к «минусу» (К-3).

Фарада (сокращенно — *Ф*) — единица чрезвычайно большая. Если принять расстояние между пластинами в 1 *мм*, то для получения емкости в 1 *Ф* нужно было бы взять дисковые пластины диаметром чуть ли не в 30 километров. Встречаемые на практике конденсаторы (электролитические) имеют емкость в несколько тысяч или, в лучшем случае, несколько десятков тысяч микрофарад (*мкФ*). Важная характеристика конденсатора — его рабочее напряжение. Оно обычно указано на корпусе, и превышать его при зарядке конденсатора нельзя. Это может привести к пробою, к разрушению диэлек-

Р-29

1
ВЫВОД
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ (ОБКЛАДКИ)
ПЛОЩАДЬ ПЛАСТИН
S
РАССТОЯНИЕ
d
ДИЭЛЕКТРИК
ВЫВОД
C

2
ЕМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА

$$C_{(пФ)} = 0{,}9\varepsilon \cdot \frac{S_{(см^2)}}{d_{(мм)}}$$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ

3
1Ф = 1 000 000 мкФ
1 мкФ = 1 000 000 пФ
0,1 мкФ = 100 000 пФ
0,01 мкФ = 10 000 пФ
0,001 мкФ = 1000 пФ

4
5 пФ
20 пФ
40 пФ
1000 пФ
5000 пФ
УВЕЛИЧИЛИ ПЛОЩАДЬ S
УМЕНЬШИЛИ РАССТОЯНИЕ
ВЗЯЛИ ДИЭЛЕКТРИК С БОЛЬШИМ ε

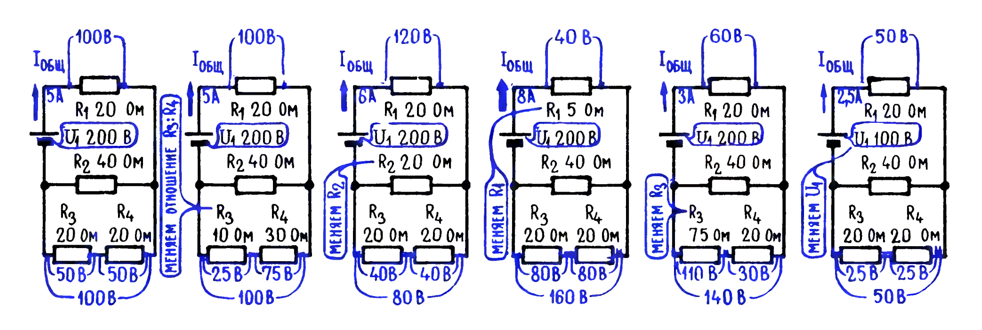
5
1 ФАРАДА
1 В
1 ФАРАДА
1В
1 КУЛОН

6
ПРОБОЙ - ПЛАСТИНЫ ЗАМКНУЛИСЬ
30 В
20 В
ПРЕВЫСИЛИ ДОПУСТИМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ПОГУБИЛИ КОНДЕНСАТОР

7
СНАЧАЛА ПРОЦЕСС ЗАРЯДА ИДЕТ БЫСТРО, И ЗАРЯДНЫЙ ТОК БОЛЬШОЙ, НО ПОСТЕПЕННО ПРОЦЕСС ЗАМЕДЛЯЕТСЯ
1К 1мкФ
1К 5мкФ
5К 5мкФ
U $I_{ЗАР}$ t
U t
U t
ЧЕМ БОЛЬШЕ R·C, ТЕМ ДОЛЬШЕ ДЛИТСЯ ЗАРЯД И РАЗРЯД
1мкФ 1К
5мкФ 1К
5мкФ 5К
U $I_{РАЗР}$ τ t
U τ t
U τ t
τ — ЭТО ВРЕМЯ, ЗА КОТОРОЕ U УМЕНЬШАЕТСЯ В 2,7 РАЗА

$$\tau_{(СЕК)} = 1 \cdot C_{(мкФ)} \cdot R_{(МОМ)}$$

τ - ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ



Р-30

трика, пластины конденсатора замкнутся, и он превратится в обычный проводник (Р-29; 6).

Т-45. Время заряда (разряда) конденсатора зависит от его емкости и от сопротивления зарядной (разрядной) цепи. В момент, когда мы подключаем конденсатор к электрическому генератору, в цепи появляется некоторый зарядный ток — это свободные электроны идут к одной обкладке конденсатора и уходят с другой, происходит накапливание зарядов на обкладках (Р-29; 7). Зарядный ток будет протекать до тех пор, пока конденсатор не примет все, что он может принять, пока не запасет столько зарядов, сколько позволяет ему емкость. Чем больше емкость, чем больше зарядов должен накопить конденсатор, тем дольше будет продолжаться процесс заряда, тем дольше будет существовать в цепи зарядный ток. Но как только заряд конденсатора закончится, этот ток прекратится. Если последовательно с конденсатором в зарядную цепь включить резистор, то он ограничит ток в цепи и процесс заряда конденсатора будет длиться дольше. Т-45

Если соединить обкладки заряженного конденсатора резистором, то начнется процесс разряда, по внешней цепи избыточные заряды будут переходить с одной обкладки на другую, стремясь нейтрализовать друг друга. Во время разряда в цепи тоже течет ток и его величина также зависит от емкости и также ограничивается сопротивлением резистора. Разряд конденсатора, подобно заряду, будет длиться тем дольше, чем больше емкость конденсатора (то есть чем больше зарядов должно уйти с обкладок) и чем больше общее сопротивление разрядной цепи.

Быстрее всего разряд произойдет, если соединить обкладки накоротко.

Наблюдая за зарядом и разрядом конденсатора, мы впервые сталкиваемся с тем, что элементы электрической цепи определяют продолжительность тех или иных процессов, в данном случае время заряда и разряда. Электрическая цепь, состоящая из *C* и *R*, или, как ее часто называют, *RC*-цепочка, в данном случае чем-то напоминает песочные часы, время «разряда» которых зависит от количества песка и диаметра отверстия, по которому он течет. Не случайно произведение *RC* называют постоянной времени.

Т-46. Любой элемент электрической цепи может влиять на режим (напряжение, ток, мощность) всех других ее элементов. Обдумывая очередной ход в шахматной партии, приходится учитывать множество возможных его последствий. Точно так же, изменяя сопротивление какого-либо участка сложной электрической цепи, приходится думать о том, что произойдет на всех других участках. Потому, что элементы сложной цепи взаимосвязаны, они разными путями и в разной степени влияют на условия жизни своих близких и далеких соседей (Т-8). Научиться разбираться в электронных схемах, научиться, как принято говорить, свободно читать схемы — это прежде всего значит научиться быстро оценивать, как именно связаны между собой эле- Т-46

С-5. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

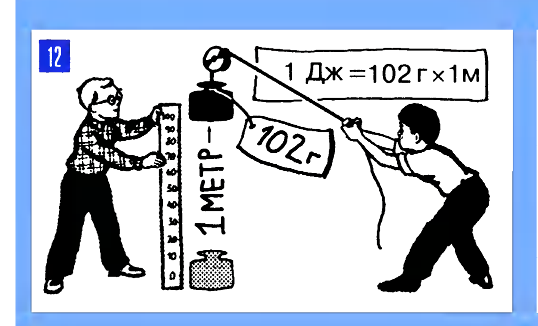
Воздух	1	Резина	2,6—3,5
Бумага сухая	3,5	Слюда	6—7,5
Воск	2,8	Стекло	5,5—6,5
Масло трансформаторное	2—3	Фарфор	5—7,5
Оргстекло	3—3,5	Титанат бария	8000

менты сложной цепи, как они влияют на токи, напряжения, потребляемые мощности, — одним словом, на режим других элементов.

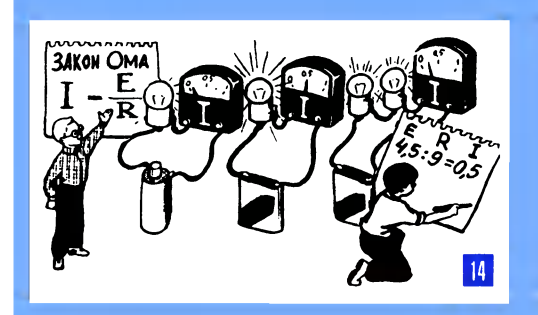
Именно на это направлено наше постепенное, шаг за шагом, путешествие в мир электротехники и электроники. Несколько полезных шагов поможет сделать рисунок (Р-30), где показано, как тот или иной элемент цепи влияет на режим всех остальных.

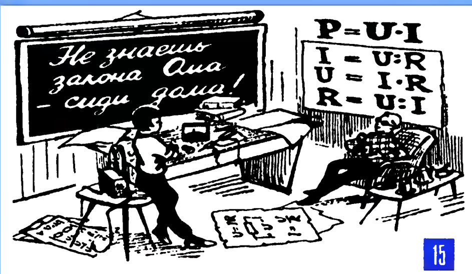
Вдумайтесь в эти примеры, присмотритесь внимательно к тому, какие изменения происходят при переходе от одного из них к другому, и постарайтесь объяснить, почему именно так должны были измениться токи и напряжения, — для этого вам понадобится не более чем закон Ома. Если ваши расчеты совпадут с тем, что указано на рисунках, то можете считать, что получили пятерку и сделали серьезный шаг вперед.

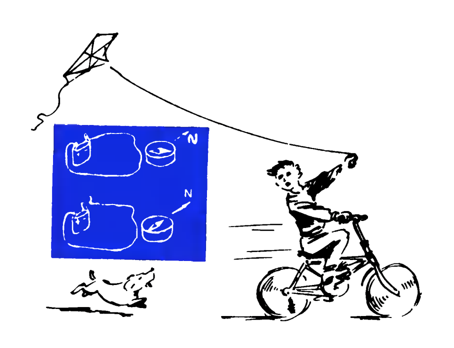
Но, конечно, главные шаги в изучении языка электрических и электронных схем еще впереди.











ГЛАВА 5

СОЗДАННЫЙ ДВИЖЕНИЕМ

Т-47. Первопричина всех магнитных явлений — движение электрических зарядов. Знакомство с магнетизмом так же, как и с электричеством, начинается с простейших опытов (Р-31). Магнит притягивает к себе железную булавку, и та, преодолевая силу тяжести, подскакивает вверх. Т-47

Магнитная стрелка компаса, как бы вы этот компас ни повернули, всегда смотрит в одну сторону, как будто ее острие тянет какая-то невидимая сила. А если поднести к компасу магнит, то стрелка, позабыв обо всем на свете, поворачивается к этому магниту и потом уже неотступно следует за ним, если магнит двигать вокруг компаса. Все это не гравитационные взаимодействия (масса Земли тянула булавку вниз, а она все же подскочила к магниту), не электрические (магнит не притягивает клочки бумаги, как наэлектризованная расческа), это нечто совсем иное, новое, не похожее ни на что другое.

Магнетизм относится к числу основных, фундаментальных явлений природы, и магнитные свойства вещества могут быть поставлены в один ряд с массой и электрическим зарядом. Магнетизм так же, как и электричество, был замечен человеком несколько тысячелетий назад. Разумеется, этот новый вид притягивающих сил так же, как и электричество, в те времена нельзя было объяснить. Их можно было только назвать. И назвали новые, ни на что другое не похожие свойства вещества магнитными свойствами, магнетизмом. Потому, что эти свойства, эта загадочная способность притягивать железо, были обнаружены у руды из месторождений вблизи города Магнезия, одного из древних городов Малой Азии. От этой Магнезии и пошло слово «магнит».

Понять происхождение магнитных свойств тоже помогают простейшие опыты. Но для таких объясняющих опытов придется уже добыть кое-какое современное лабораторное оборудование — батарейку для карманного фонаря, кусок провода и пару лампочек.

Соберите из этих элементов простейшую электрическую цепь, показанную на Р-31; 3, и поднесите к проводу, по которому идет ток, компас (Р-31; 4) — стрелка компаса повернется в сторону проводника. Подключите параллельно первой лампочке вторую, увеличив тем самым ток в общем проводе (Р-31; 5),— стрелка отклонится сильнее. Уменьшите ток, включив лампочку последовательно,— отклонение стрелки уменьшится. Смените полярность подключения батареи и тем самым измените направление тока (Р-31; 6) — стрелка повернется в противоположную сторону. И последнее: разорвите цепь, прекратите ток в ней — и стрелка компаса тут же вернется в исходное состояние: позабыв о проводнике, на который она только что равнялась, стрелка будет, как всегда, показывать на север (Р-31; 2).

Из всех этих опытов можно сделать вывод: магнетизм порождается электрическим током, и чем сильнее ток в проводнике, тем более сильным магнитом становится этот проводник. Глубокие исследования привели к еще более категорическому выводу: никакого самостоятельного магнетизма вообще нет, магнетизм порождается электричеством, магнитные свойства появляются у движущихся электрических зарядов, и только у движущихся электрических зарядов.

Но откуда же тогда берутся магнитные свойства у постоянных, железных магнитов, скажем у стрелки компаса? Их тоже создает движение зарядов, но на этот раз движение зарядов в мире атомов и молекул.

Каждый электрон сам по себе обладает некоторыми магнитными свойствами, и, кроме того, в каждом атоме есть свои внутренние электрические токи — движение электронов по орбитам. Именно эти орбитальные токи вместе с собственным магнетизмом электронов могут превратить атом в микроскопический магнит. Но у всех веществ эти микроскопические магнитики как-то взаимно нейтрализуют друг друга, а у постоянных магнитов магнитные свойства многих атомных токов-магнитов суммируются. Конечно, в действительности все происходит не так-то просто, но результат именно такой: постоянные магниты своими магнитными свойствами обязаны движению зарядов (Р-32; 7,8).

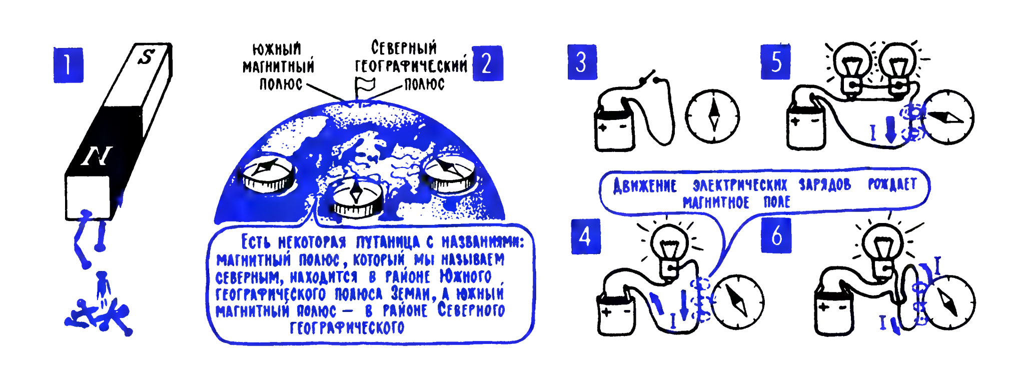
Пытаясь подвести итог и несколько утрируя для этого истинную картину, отметим: янтарная палочка — это всего лишь янтарная палочка; натертая янтарная палочка — это электрический заряд, и, наконец, натертая янтарная палочка, если ею размахивать в воздухе,— это уже магнит.

Т-48

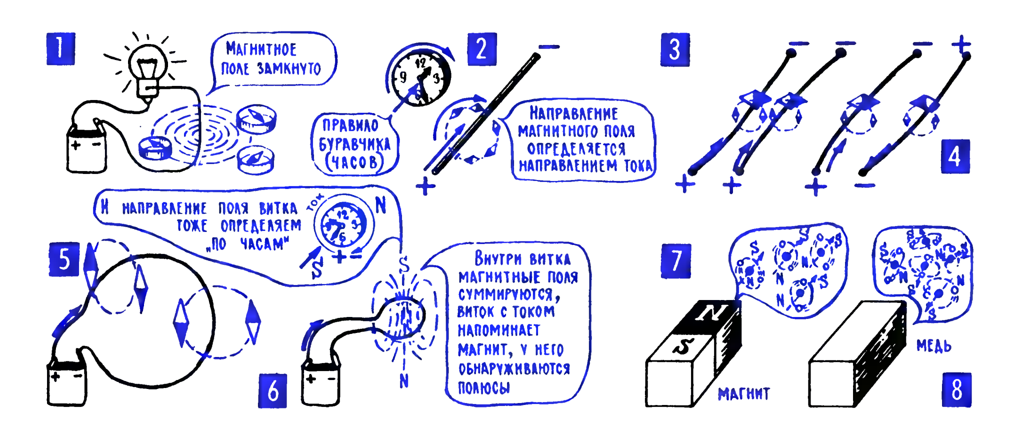
Т-48. Магнитное поле всегда замкнуто. Вокруг всякого движущегося заряда существует уже не только электрическое поле, как вокруг неподвижного (Т-25), но также магнитное поле, еще одна особая форма материи, еще одно невидимое, неслышимое, неосязаемое Нечто. Чтобы убедиться, что в какой-то точке пространства есть электрическое поле, достаточно сунуть в эту точку пробный электрический заряд: если электрическое поле есть, то оно будет пытаться сдвинуть этот заряд с места. Обнаружить магнитное поле можно с помощью пробной магнитной стрелки: если магнитное поле есть, то стрелка будет поворачиваться в сторону действия магнитных сил.

Эксперименты с магнитной стрелкой убеждают, что магнитное поле всегда замкнуто, что у него, как у бублика, нет начала и нет конца (Р-32; 1). Слово «замкнуто» в данном случае надо понимать так: если двигать пробную магнитную стрелку в ту сторону, куда ее поворачивает магнитное поле, то мы придем в ту же точку, из которой вышли. Этому факту не нужно искать объяснения — так устроен мир. Замкнутость магнитного

Р-31



Р-32



поля — это его основное свойство: оно из той же серии, что и существование двух сортов электрического заряда и только одного сорта массы.

Т-49

Т-49. Возле проволочного витка с током можно выделить две особые области — северный и южный магнитные полюсы. Направление магнитного поля определяется направлением тока, который это поле создал; это направление поля можно узнать по правилу буравчика или по правилу часов (Р-32; 2). А если расположить рядом два проводника с током, то в любой точке между ними магнитные силы, действующие на пробную магнитную стрелку, будут определяться магнитными полями обоих проводников. Причем в зависимости от направления тока эти два магнитных поля могут либо действовать друг против друга и взаимно уничтожаться (Р-32; 4), либо могут действовать согласованно (Р-32; 3). При согласованном действии магнитных полей их усилия складываются, они с удвоенной силой действуют на магнитную стрелку, помещенную между проводами.

Есть простой способ складывания магнитных полей, которые создаются разными участками одного и того же проводника: нужно просто свернуть проводник в кольцо (Р-32; 5). При этом магнитное поле внутри такого кольца станет суммой многих согласованно действующих магнитных полей и усилится во много раз по сравнению с полем ровного, не изогнутого проводника. Наиболее сильное суммарное поле — в районе центра витка. Причем если приближать стрелку компаса к району центра то с одной стороны, то с другой, то поле будет поворачивать эту стрелку в разных направлениях (Р-32; 6). Если поднести стрелку к центру витка с одной его стороны, то стрелка повернется к витку своим северным полюсом, а если поднести стрелку к центру витка с другой стороны, она повернется к витку южным полюсом. Это различие долго объяснять словами, но оно станет сразу же понятным, если подробно проследить, как складываются магнитные поля отдельных участков кольцевого проводника (Р-32; 5). И тот факт, что направление магнитных сил с одной стороны витка отличается от направления магнитных сил с другой стороны витка, заставляет выделить в его магнитном поле две качественно отличающиеся области (примерно так же мы обнаружили некоторые качественные различия у электрических зарядов и выделили два сорта зарядов — «+» и «—») и дать этим областям свои названия: область северного магнетизма — это та, которая притягивает стрелку компаса ее синей стороной, и область южного магнетизма — это та, которая притягивает стрелку ее красной стороной. Кстати, само различие магнитных свойств двух заостренных концов стрелки связа-

но с теми же явлениями, которые наблюдались при складывании магнитных полей кольцевого тока.

Т-50. Разноименные магнитные полюсы (северный и южный) притягиваются, одноименные — отталкиваются. Магнитное поле постоянного магнита создается суммой некоторых кольцевых токов в атомах, молекулах и молекулярных блоках (доменах). При этом поля отдельных микроскопических кольцевых токов складываются так, что у магнита появляются две области с особо сильными магнитными полями. Их и называют полюсами магнита (Р-32; 7).

Рожденные бессчетными атомными кольцевыми токами полюсы постоянного магнита имеют те же особенности, что и северная и южная области кольцевого тока — они притягивают к себе магнитную стрелку разными ее концами. Общее правило, не имеющее исключений, отмечает, что разноименные полюсы магнитов (или разноименные области кольцевых токов) притягиваются, одноименные — отталкиваются.

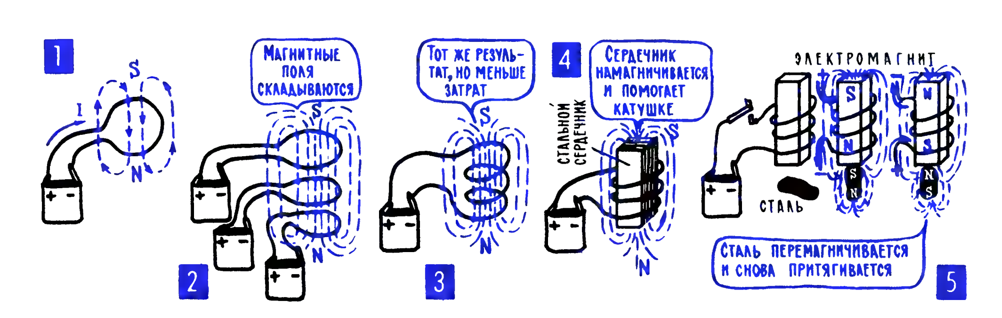
Где у какого магнита северный полюс, а где южный, можно легко определить, если поднести к нему другой магнит, полюсы которого известны.

Остается лишь пояснить, как при этом можно дать названия полюсам самого первого магнита, скажем стрелке самого первого компаса. Здесь есть два пути. Вот первый: северным полюсом назвать то острие стрелки (оно окрашено в красный цвет), которое поворачивается к Северному географическому полюсу Земли, а южным полюсом стрелки назвать то ее острие (окрашено в синий цвет), которое смотрит на Южный географический полюс. Мы знаем, что Земля — большой магнит, полюсы которого находятся примерно там же, где и географические полюсы. Причем на месте Северного географического полюса находится южный магнитный полюс этого большого магнита. И этот южный полюс (Северный географический полюс Земли) тянет к себе острие стрелки компаса, которое мы называем северным.

А вот и второй способ. Зная направление тока, всегда можно по правилу буравчика или по правилу часов (Р-32; 2) определить, где у кольцевого тока северная магнитная область, а где южная (их часто тоже называют полюсами). И если внести компас в магнитное поле кольцевого тока, то можно дать названия полюсам стрелки.

Т-51. Катушка: ток последовательно проходит по нескольким виткам провода, и их магнитные поля суммируются. Если можно складывать магнитные поля отдельных участков проводника, свернув его в кольцо, то, конечно, можно еще больше усилить суммарное магнитное поле, если свернуть из проводника несколько колец и сблизить их (Р-33). Такой спиралевидный элемент называют катушкой индуктивности или просто катушкой.

Р-33



С-6. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ μ. **С-6**

В левой части верхней таблицы — парамагнитные вещества, в правой — диамагнитные; в нижней таблице — ферромагнитные вещества и материалы.

Воздух	1,000 000 36	Графит	0,999 895
Олово	1,000 004	Ртуть	0,999 975
Алюминий	1,000 023	Серебро	0,999 981
Платина	1,000 36	Ртуть	0,999 989
Марганец	1,000 4	Медь	0,999 991
Кобальт	174	Мягкая сталь	2200
Чугун неотожженный	240	Трансформаторная сталь	7500
Чугун отожженный	620	Вакуумное железо	13 000
Никель	1120	Пермаллой	115 000

Ясно, чем больше витков у катушки, тем сильнее ее суммарное магнитное поле. А кроме того, поле, как всегда, зависит от тока, и поэтому способность катушки создавать магнитное поле (при данной конкретной величине тока) иногда оценивают ампер-витками — произведением тока I в амперах на число витков w.

Т-52. Ферромагнитные и парамагнитные вещества в разной степени усиливают магнитное поле, диамагнитные ослабляют его. Можно во много раз усилить магнитное поле катушки, если вставить в нее сердечник (Р-33; 4) из так называемых ферромагнитных веществ. К их числу относятся железо (сталь), никель, кобальт, а также некоторые специальные сплавы и специальная керамика, содержащая окислы железа. Внешнее магнитное поле действует на кольцевые токи в атомах ферромагнитного вещества таким образом, что эти микроскопические магнитики поворачиваются в одну сторону и начинают создавать свое собственное магнитное поле, которое может оказаться во много раз сильнее внешнего, созданного током в катушке. Число, которое показывает, во сколько раз в том или ином веществе реальные магнитные силы превышают магнитные силы внешних полей, называют *относительной магнитной проницаемостью* μ (С-6). У стали магнитная проницаемость около 7000. Это значит, что внутри стального сердечника, вставленного в катушку, магнитные силы поворачивали бы магнитную стрелку (это, конечно, мысленный эксперимент — стрелка внутри стального сердечника) в семь тысяч раз сильнее, чем внутри той же катушки, но без сердечника. Если в катушку вставлен стальной или иной ферромагнитный сердечник, то магнитное поле значительно усиливается и в нем самом, и во всей области вблизи катушки. **Т-52**

Все остальные вещества, кроме ферромагнитных, незначительно влияют на реальные магнитные силы. При этом некоторые вещества (парамагнитные) незначительно увеличивают эти силы, а другие (диамагнитные) незначительно ослабляют их.

Т-53. Основные характеристики магнитного поля — напряженность, индукция и магнитный поток. Мы затратили довольно много усилий на знакомство с электрическими явлениями, с процессами в электрических цепях. Хочется верить, что это было интересное знакомство, но во всех случаях это было знакомство полезное. Можно даже сказать, необходимое. Потому **Т-53**

что любая электронная установка — это не что иное, как электрическая цепь, и чувствовать себя свободно и легко в мире электроники может только тот, кто глубоко понимает законы электрических цепей.

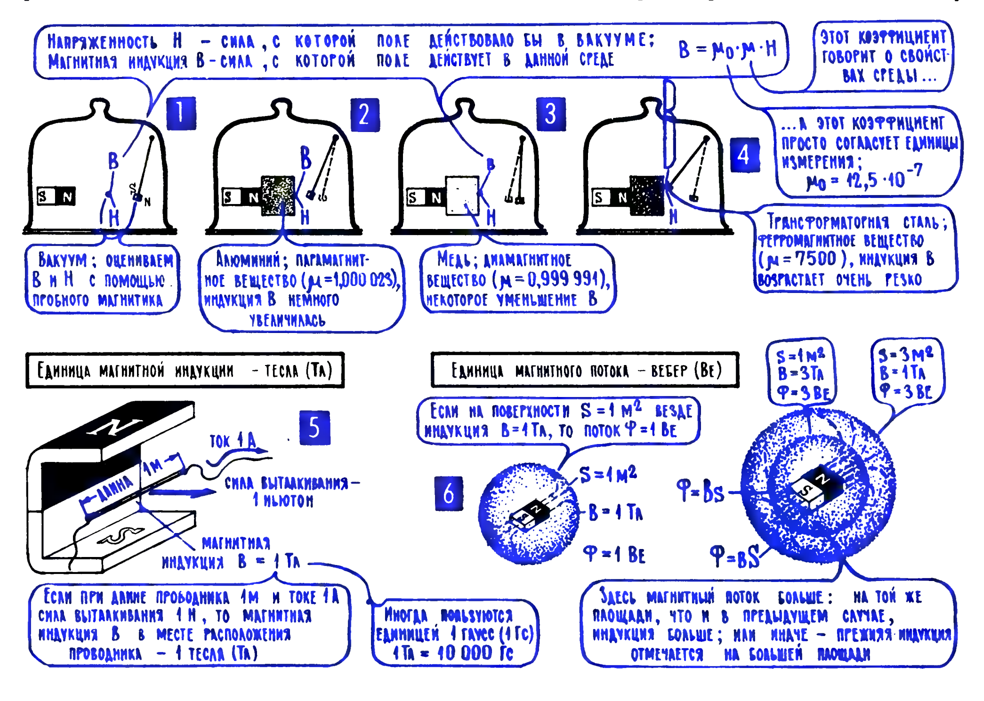
Во многих электронных приборах и установках работает не только электричество, но и магнетизм, и именно поэтому нужно иметь хотя бы самое общее представление о некоторых важных магнитных характеристиках и единицах их измерения.

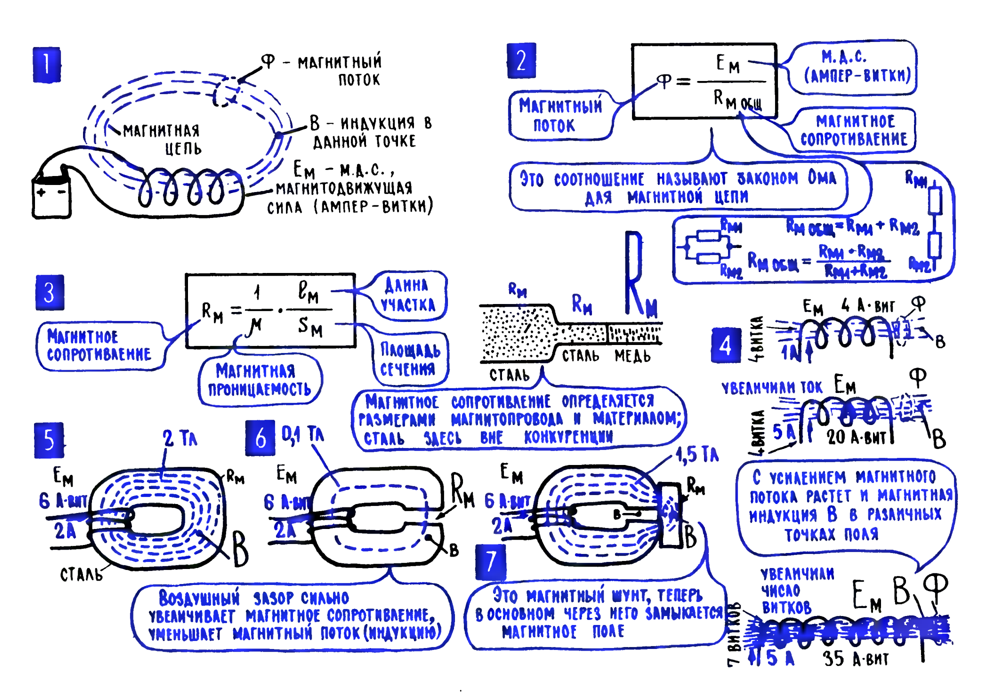
Когда нам понадобились единицы измерения различных электрических характеристик — напряжения, тока, сопротивления, мощности, — то мы начали с минимальной порции электрического заряда, с электрона. Из него была сформирована реальная единица заряда — кулон, и дальше уже все пошло легко и просто — ампер, вольт, ом, ватт, фарада, джоуль (Т-29, Т-30).

С единицей магнетизма дело обстоит сложней. Во всяком случае, сделать эталоном какой-либо атомный кольцевой ток не удается. И в качестве единицы магнитных свойств, единицы магнетизма, выбраны магнитные свойства проводника, по которому идет ток в 1 ампер.

Знакомые нам электрические характеристики рассказывают о событиях в электрической цепи — об интенсивности движения зарядов (ток), их работоспособности (напряжение), а первопричину всех явлений — электрическое поле — мы оставили в стороне.

А вот все основные магнитные характеристики — это характеристики магнитного поля. Одна из них — напряженность поля (H) — показывает, с какой силой магнитное поле в данной точке действовало бы на определенный пробный магнит, скажем на проводник с током в 1 A, если бы действие происходило в вакууме (Р-34; 1). События переносятся в вакуум, чтобы исключить всякое влияние среды, и поэтому можно считать, что напряженность поля — это абсолютно чистая характеристика: она говорит





только о возможности магнита, который создает магнитное поле. И ни о чем другом. Единица напряженности — *ампер на метр* (*а/м*). Магнитное поле с такой напряженностью появляется на расстоянии 16 сантиметров от проводника, по которому идет ток в 1 ампер.

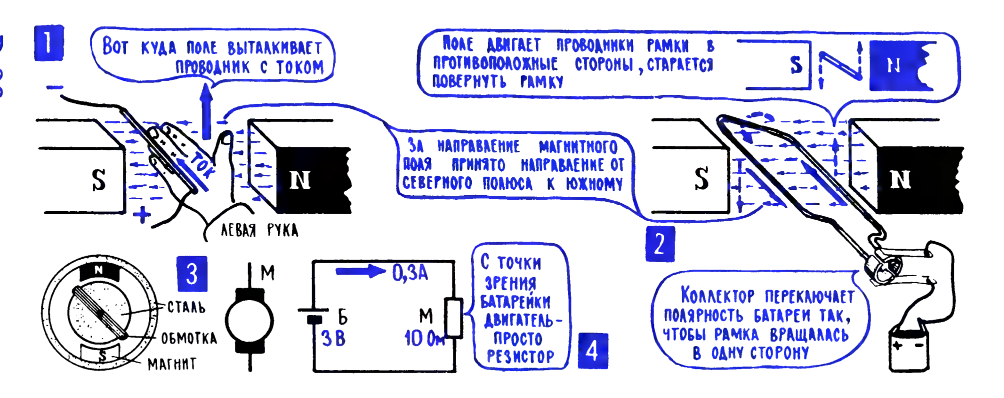
Если напряженность говорит о том, что могло бы делать магнитное поле, то вторая характеристика — индукция — говорит о том, что оно делает реально, с учетом среды (Р-34; 2). Магнитная индукция (*В*) показывает реальную силу, с которой поле в данной точке действует на пробный магнит. Единица магнитной индукции — *тесла* (*Т* или *Тл*).

Представьте себе, что в равномерное магнитное поле, созданное огромным магнитом, поместили проводник, по которому идет ток в 1 *А*. Так вот, если такое поле действует на такой проводник с током силой в 1 *Н* (ньютон), то мы говорим, что в каждой точке поля, через которую этот проводник проходит, магнитная индукция составляет 1 теслу. Довольно часто вместо теслы пользуются другой, более мелкой единицей магнитной индукции из другой системы единиц. Это *гаусс* (*Гс*), который в 10 000 раз меньше теслы (1 *Тл* = 10 000 *Гс*; 1 *Гс* = 0,0001 *Тл*).

Что такое метр или ампер, можно себе представить. А как представить себе магнитное поле с индукцией 1 *Тл* или 1 *Гс*? Для иллюстрации этих единиц отметим, что магнитное поле вблизи сильного магнита может достигать нескольких десятков тысяч *Гс*, то есть нескольких *Тл*. Магнитное поле вблизи стрелки компаса едва превышает сотню *Гс* (0,01 *Тл*). Магнитное поле Земли вблизи ее поверхности может быть меньше 0,01 *Гс* (0,000 001 *Тл*).

Индукция говорит о реальных магнитных силах в определенной точке поля. А какие общие силовые возможности у данного магнита? Насколько велико пространство, где действует известная величина индукции? Об этом косвенно рассказывает такая характеристика магнитного поля, как магнитный поток (обозначается буквой *Ф*). Магнитный поток опреде-

Р-36



ляется так: выделяют площадку, перпендикулярную направлению магнитных сил, и смотрят, чему равна магнитная индукция не в одной какой-нибудь точке, а на всей площадке. Величина индукции, умноженная на площадь площадки, и называется магнитным потоком. Магнитную индукцию уместно сравнить с весом одной дождевой капли, а магнитный поток — с весом всех капель, ударяющих в данную минуту по району, где идет дождь. Единица магнитного потока в системе СИ — вебер *(Вб)*, он соответствует индукции в 1 *Тл*, действующей на площади 1 *м*^{2}.

Т-54 **Т-54. Путь, по которому замыкается магнитное поле, часто называют магнитной цепью.** Можно провести полезную аналогию между электрической цепью, по которой идет ток, и тем «бубликом», по которому замыкается магнитное поле (Р-35; 1). Роль генератора в такой магнитной цепи играет сам магнит или электромагнит — катушка. Ток в электрической цепи можно сравнить с общим магнитным потоком, который как бы выходит из одного полюса магнита и входит в другой. А магнитное сопротивление будет отображать влияние среды на величину магнитного потока подобно тому, как сопротивление электрической цепи отображает влияние среды, где протекает ток, на величину этого тока. Существует даже закон Ома для магнитной цепи (Р-35; 2), он имеет внешнее сходство с законом Ома для электрической цепи. Так, например, отмечается, что магнитный поток пропорционален так называемой магнитодвижущей силе, которую в случае электромагнита определяют ампер-витки катушки: чем больше эти ампер-витки, тем сильнее общий магнитный поток. Кроме того, магнитный поток обратно пропорционален магнитному сопротивлению: если полюсы магнита, который находился в воздухе, замкнуть магнитопроводом из стали, то резко (в 7000 раз) уменьшится магнитное сопротивление цепи и увеличится магнитный поток.

Сравнение магнитной цепи с электрической приводит к некоторым очень важным практическим выводам. Вот один из них: если в замкнутой стальной магнитной цепи сделать небольшой воздушный зазор (Р-35; 6), то он резко увеличит общее магнитное сопротивление цепи и ослабит общий поток — так участок с большим сопротивлением, последовательно включенный в электрическую цепь, резко уменьшает ток в ней. Очень важно, что при этом уменьшится и магнитная индукция в самой стали — это есть результат ослабления общего магнитного потока. А если параллельно воздушному зазору создать дополнительный путь с меньшим магнитным сопротивлением (Р-35; 7), например приложить к зазору тонкую стальную пластинку, то магнитное сопротивление участка уменьшится (так уменьшалось

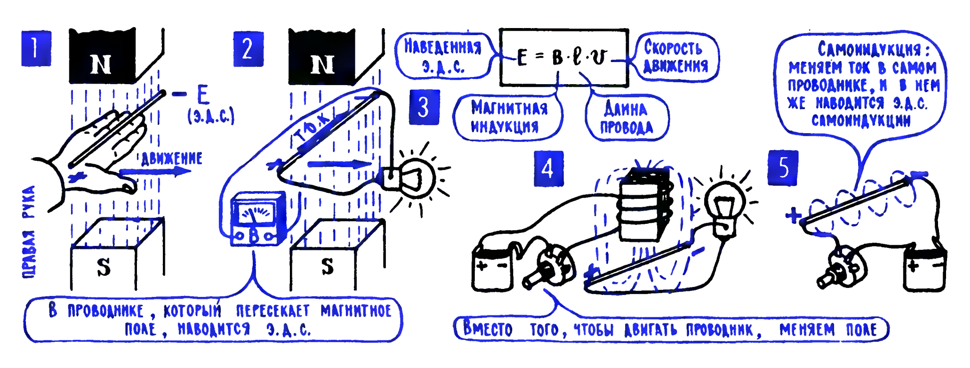
сопротивление участка электрической цепи при ее шунтировании) и основной магнитный поток пойдет по пути наименьшего магнитного сопротивления (основной электрический ток в параллельной цепи тоже идет по пути наименьшего сопротивления), пойдет через магнитный шунт. Это интересное явление используется для записи сигналов на магнитную ленту (Т-231), в частности в магнитофонах и видеомагнитофонах.

Т-55. Электромагнитные взаимодействия позволяют использовать электроэнергию для выполнения механической работы. До сих пор мы знали, что ток, работая в электрической цепи, может создавать тепло и свет, может переносить некоторые вещества с одного электрода на другой (Т-22). Теперь же, после знакомства с магнитными свойствами тока, нетрудно представить себе, как электрический ток выполняет тяжелую механическую работу в электродвигателях. Т-55

Двигатели бывают самые разные, разные по устройству, по режиму работы, потребляемой электрической мощности, разные по характеру питающего их тока (к некоторым двигателям нужно подводить неизменное напряжение, к другим — обязательно меняющееся). Но во всех этих двигателях используется один и тот же принцип: по проводнику пропускают ток, магнитные силы внешнего магнита (или электромагнита) начинают двигать этот проводник, взаимодействуя с его собственным магнитным полем (Р-36). Сила этого взаимодействия, а значит, и работоспособность двигателя зависит от тока в его рабочих движущихся обмотках и от индукции внешнего магнитного поля: чем больше этот ток и чем больше индукция внешнего поля, тем мощнее двигатель. Поэтому, между прочим, в двигателях так много стальных деталей: они уменьшают магнитное сопротивление тех магнитных цепей, по которым замыкаются поля, при этом усиливается магнитный поток и, следовательно, индукция (Р-36; 3).

На принципиальных схемах двигатель имеет свое обозначение. Для простоты его часто можно рассматривать как резистор и пользоваться всеми известными формулами, чтобы подсчитать ток в двигателе, его сопротивление, напряжение на зажимах или потребляемую двигателем мощность (Р-36; 4).

Т-56. В проводнике, который движется в магнитном поле, индуцируется (наводится) электродвижущая сила. Долгие годы электричество и магнетизм были известны как совершенно разные, независимые явления. И только в 1820 году датский физик Ханс Кристиан Эрстед обнаружил, что электрический ток действует на стрелку компаса и что, следовательно, магнетизм может появиться из электричества. После этого открытия естественно было предположить, что можно осуществить и обратное преобразование: из магнетизма получить электричество — ведь получают же из воды лед, Т-56



Р-37

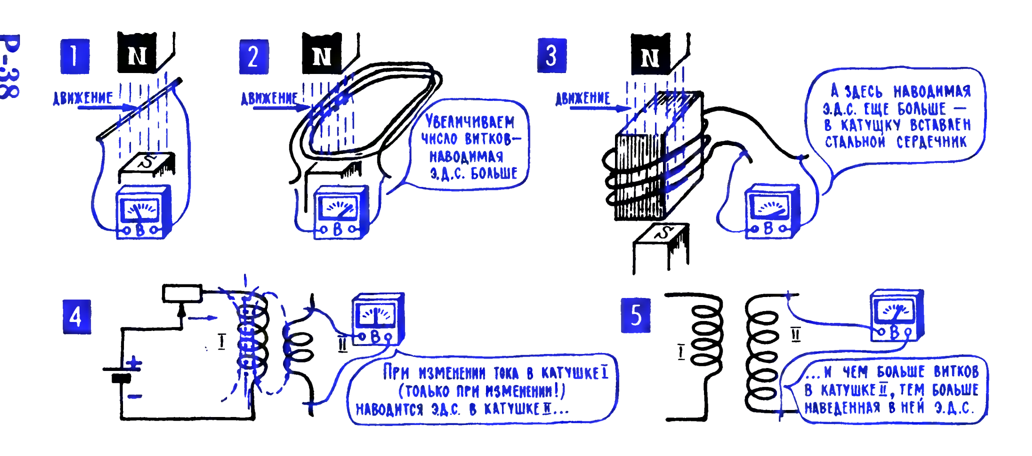
а из льда воду. И электричество из магнетизма действительно было получено, но не сразу, а только через двадцать два года после открытия Эрстеда. Все эти годы ушли на выяснение одной, как теперь кажется, очень простой истины.

Электричество из магнетизма впервые получил замечательный английский физик Майкл Фарадей. Он самыми разными способами пытался расположить проводник возле магнита, полагая, что для получения тока нужно лишь придать проводнику удачную форму и найти ему удачное место в магнитном поле. И только спустя много лет Фарадей обнаружил, может быть даже случайно, что для получения тока в проводнике, кроме этого проводника и магнита, нужно еще одно обязательное слагаемое — движение. Электродвижущая сила на концах проводника, а при замкнутой цепи и ток в нем, появляется, если проводник определенным образом двигать в магнитном поле (Р-37; 1). Это явление называется электромагнитной индукцией, или в переводе — электромагнитным наведением.

Появление индуцированной (наведенной) э.д.с. в самом упрощенном виде можно объяснить так: каждый свободный электрон обладает магнитными свойствами, по-видимому, за счет каких-то внутренних сложных движений его электрического заряда. Если поместить проводник во внешнее магнитное поле, то оно схватит (Т-8) свободные электроны проводника, взаимодействуя с ними, как с микроскопическими магнитиками. А если теперь двинуть проводник, то электроны как бы останутся на месте, удерживаемые внешним полем, и проводник сместится относительно этих свободных электронов. В итоге на одном конце проводника концентрация электронов увеличится, на другом — уменьшится. То есть на концах проводника появится скопление разноименных зарядов, а значит, электродвижущая сила. Если же остановить проводник, то электроны постепенно вернутся в свои старые районы и вновь равномерно распределятся в проводнике. При этом, разумеется, э.д.с. на его концах исчезнет. Еще раз отметим: это очень упрощенное объяснение, скорее даже намек на объяснение, чем истинная картина.

Величина наведенной э.д.с. E зависит от длины проводника l, от индукции внешнего магнитного поля B и еще, конечно, от скорости движения проводника v: чем быстрее он движется, тем больше наведенная электродвижущая сила (Р-37; 3).

Р-38



Т-57. Различные способы наведения э.д.с. — индукция, взаимоиндукция, самоиндукция. Для того чтобы в проводнике навелась э.д.с., можно двигать его в магнитном поле или, что то же самое, магнитное поле двигать относительно проводника. А можно еще поступить так: расположить рядом два проводника и в одном из них менять величину тока, например включив в цепь переменное сопротивление (Р-37; 4). Раз в первом проводнике меняется ток, то, значит, меняется и его магнитное поле. А оно, это меняющееся поле, охватывает второй проводник и наводит в нем э.д.с. точно так же, как это делало магнитное поле движущегося магнита. Такой способ наведения э.д.с. называется взаимоиндукцией. Т-57

Уберем второй проводник и внимательно посмотрим, что происходит в первом, когда в нем меняется ток. Этот меняющийся ток, как мы только что установили, создает меняющееся магнитное поле. Но ведь это поле не только действует в пространстве вокруг проводника, оно пронизывает и сам проводник. И когда собственное магнитное поле проводника меняется, то оно, по всем правилам электромагнитной индукции, наводит э.д.с. в самом этом проводнике (Р-37; 5). Такой способ наведения называют самоиндукцией, а наведенную э.д.с. — электродвижущей силой самоиндукции.

Итак, в цепи при изменении тока действуют две электродвижущие силы — э.д.с. генератора и э.д.с. самоиндукции. Как же происходит их взаимодействие, каковы результаты такой совместной работы? Оказывается, что э.д.с. самоиндукции всегда мешает генератору менять ток в цепи. (Интерес представляет только режим изменения тока: если ток не меняется, то остается неизменным и магнитное поле проводника, а значит, э.д.с. самоиндукции вообще нет.) Если ток по какой-либо причине увеличивается, то э.д.с. самоиндукции мешает этому увеличению, и ток уже возрастает не так резко. Если ток в цепи уменьшается, то э.д.с. самоиндукции мешает этому уменьшению, поддерживает ток, и в итоге он падает более плавно. В этом отношении э.д.с. самоиндукции можно сравнить с маховиком, который вначале трудно раскрутить, а затем трудно остановить. Особенно велика э.д.с. самоиндукции при резком изменении тока, например в момент размыкания цепи.

Т-58. Чем больше число витков в катушке индуктивности, тем больше наведенная в ней э.д.с. Можно увеличить наведенную в проводнике э.д.с., если свернуть этот проводник в спираль, то есть сделать из него катушку индуктивности. В этом случае в каждом витке будет наводиться электродвижущая сила (э.д.с. индукции, взаимоиндукции или самоиндукции, в зависимости от выбранного способа наведения), и все эти э.д.с. отдельных витков будут складываться так же, как складывается э.д.с. последовательно включенных генераторов. Суммарная э.д.с., наведенная магнитным полем в катушке, пропорциональна числу ее витков. Т-58

То же самое можно сказать и о процессе взаимоиндукции. Здесь для получения э.д.с. располагают рядом две катушки (Р-38; 4) — первичную I (в ней меняется ток и создает меняющееся магнитное поле) и вторичную II (в ней наводится э.д.с. взаимоиндукции). Чем больше витков в этой вторичной катушке, тем больше наведенная в ней э.д.с. Кстати, такое устройство из нескольких катушек (обмоток) называется трансформатором. Вскоре мы познакомимся с ним подробнее (Т-87).

Наведенная э.д.с. зависит и от скорости изменения индукции *B* магнитного поля, охватывающего витки. Обратите внимание: *не от самой величины магнитной индукции, а от скорости ее изменения.* Это настолько важ-

ная особенность многих процессов — зависимость чего-либо от скорости изменения,— что на ней стоит остановиться более подробно.

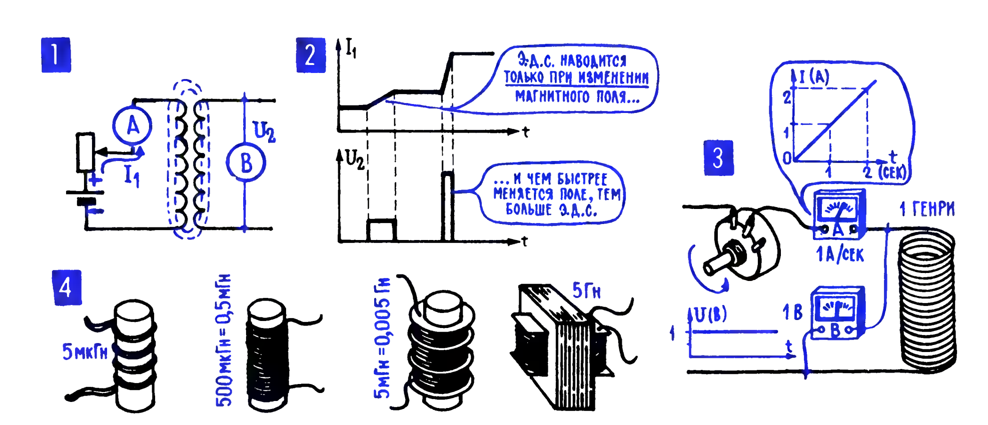
Т-59 **Т-59. Во многих процессах решающую роль играет не абсолютное значение какой-либо величины, а скорость ее изменения.** Вообразите себя героем арифметической задачи из популярной серии задач с бассейнами. По условиям нужно выбрать для купания один бассейн из трех возможных. При этом известно, что в первом бассейне уровень воды 30 *см*, во втором — 15 *см* и в третьем — 5 *см*. Из всех этих мелких водоемов вы, конечно, выбираете первый — лучше уж войти в воду по колено, чем по щиколотку. Но вот, почитав условия задачи чуть дальше, вы узнаете, что кран, наполняющий первый бассейн, закрыт, а во втором бассейне кран открыт (в задаче с бассейнами обязательно должны быть открытые и закрытые краны) и уровень воды поднимается на 1 *см* каждую минуту. Приходится на ходу менять решение — выбираем второй бассейн, через час здесь вода поднимется уже до 75 *см*, и можно будет поплавать по-настоящему.

В ожидании, пока это произойдет, вы наконец дочитываете условия задачи до конца, и выясняется, что и в третьем бассейне открыт кран, причем открыт очень сильно — уровень воды каждую минуту поднимается на 10 *см*. Теперь сомнений нет: лучше всех третий бассейн, он наполнится до тех же 75 *см*, что и второй, уже не за час, а всего за каких-нибудь 7 минут. Только успеешь раздеться, и уже можно нырять.

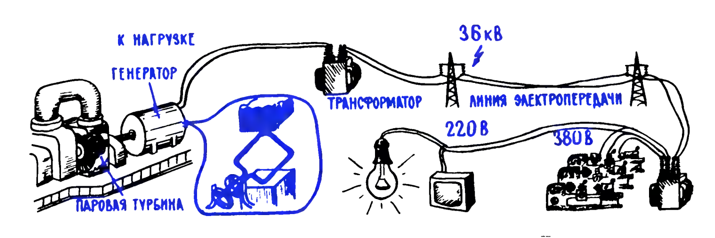
Этот простой пример показывает, что есть случаи, когда нужно не только знать «сколько?», но стоит также поинтересоваться, «меняется или не меняется?», а если окажется, что меняется, то необходимо выяснить, «насколько быстро меняется?», или, иными словами, «чему равна скорость изменения?»

Т-60 **Т-60. Наведенная в катушке э.д.с. тем больше, чем больше скорость изменения магнитного поля.** До чего же все-таки это прекрасное изобретение человека — школа, система передачи знаний. То, на выяснение чего великий Фарадей потратил годы, мы узнаем в несколько минут. Заглянув в школьный учебник физики, мы узнаем, что э.д.с., которая наводится в проводнике или в катушке, зависит от того, насколько быстро меняется поле: чем больше скорость изменения магнитной индукции (или скорость движения проводника в равномерном поле с постоянной индукцией), тем больше наведенная э.д.с. Объяснить это можно, пользуясь крайне упрощенной картиной наведения э.д.с. и ни на минуту не забывая о предупреждении Т-8. При движении проводника внешнее поле, схватившее его свободные электроны, ста-

Р-39







Р-40

рается сдвинуть их в один конец этого проводника, накопить в одной области. А электроны своими электрическими полями расталкиваются, стараются распределиться по проводнику равномерно. Здесь для магнитного поля, создающего э.д.с., самое главное — скорость: чем быстрее оно будет сдвигать электроны, тем большее их количество накопится на концах проводника (катушки), тем больше будет наведенная э.д.с. индукции. Кое-что здесь может пояснить еще один пример с бассейнами. Представьте себе, что в бассейне два крана, через один вода наливается (внешнее магнитное поле, изменяясь, тянет за собой электроны), через другой кран — выливается. Ясно, что чем больше открыт первый кран, чем больше скорость наполнения бассейна, тем больше в нем успеет накопиться воды. А стоит перекрыть первый кран (скорость изменения магнитного поля равна нулю), как бассейн быстро окажется пустым (наведенная э.д.с. равна нулю).

В процессе взаимоиндукции и самоиндукции магнитное поле меняется потому, что меняется ток в цепи, и поэтому чем быстрее меняется ток, тем больше и наведенная в катушке э.д.с. (Р-39; 1, 2). Подчеркнем смысл понятия «скорость изменения» еще одним примером, но уже не с бассейнами, а с более близкой нам теперь электрической цепью. По двум совершенно одинаковым катушкам идет ток — по первой 5 *А*, по второй — 1000 *А*. Токи в катушках постепенно меняются, и через секунду в первой катушке уже 10 *А*, во второй — 1001 *А*. Так вот, э.д.с. самоиндукции во второй катушке, несмотря на устрашающую абсолютную величину тока (1000 *А* — это очень много!), будет меньше, чем в первой. Потому что скорость изменения тока в первой катушке больше — здесь ток изменился на 5 *А* за 1 *сек*, а во второй катушке — всего на 1 *А* за 1 *сек*.

Т-61

Т-61. Индуктивность характеризует способность катушки создавать магнитное поле, единица индуктивности — *генри*. Зависимость э.д.с. самоиндукции от скорости изменения тока позволяет ввести точную характеристику тех свойств самой катушки, которые говорят об умении взаимодействовать с магнитным полем и создавать свое поле. Мы упоминали, что магнитное поле катушки тем сильнее, чем больше в ней витков, и что поле резко усиливается, если вставить в катушку ферромагнитный сердечник (Т-52). Теперь мы можем о магнитных свойствах катушки судить по той э.д.с., которая в этой катушке наводится. Характеристика катушки, которая рассказывает об этом, называется ее *коэффициентом самоиндукции*, или, короче, коэффициентом индуктивности, или, еще короче, просто индуктивностью. Обозначается этот коэффициент буквой L, этой же буквой часто обозначаются на схемах и сами катушки. Единица индуктивности — *генри*. Такой индуктивностью обладает катушка, если при изменении в ней тока на 1 *А* за 1 *сек* в катушке наводится э.д.с. 1 *В*. То, что реально могут представлять собой катушки той или иной индуктивности, показано на Р-39.

Т-62

Т-62. В машинных генераторах э.д.с. создается за счет перемещения проводников в магнитном поле. К арсеналу генераторов, в которых электризация электродов шла за счет химической, тепловой или световой энергии

(Т-27), мы сейчас прибавим еще один тип источников электрической энергии. Это машинный генератор, в нем получают э.д.с., двигая проводник или систему проводников (обмотку) в магнитном поле. В реальных мощных генераторах, правда, поступают наоборот — обмотка, на которой должна наводиться э.д.с., стоит на месте, а относительно нее движутся мощные электромагниты. Но принцип работы всех машинных генераторов один и тот же: они используют энергию внешних источников (водяных или паровых турбин, двигателей внутреннего сгорания, ветродвигателей) для того, чтобы создавать э.д.с., направлять в электрические цепи заряды, которые могли бы выполнять разные виды работ — светить, греть, двигать.

Задумываясь над тем, что происходит в такой системе, можно натолкнуться на два простых вопроса, два наивных «Почему?». Вот первое — почему для перемещения обмоток генератора в магнитном поле нужны мощные источники энергии, все эти гигантские паровые турбины, гигантские плотины, где работает падающая с огромной высоты вода? На это «Почему?» можно ответить в общем виде, а можно ответить конкретно, с учетом конкретных процессов в электрогенераторе. Сначала общий ответ. Электрические заряды, которые электрогенератор направит в цепь, будут выполнять там большую работу. Откуда заряды возьмут необходимые для этого силы? Кто даст им необходимый запас энергии? Конечно же, генератор. Но генератор не может взять энергию ниоткуда, он получает ее от внешнего источника, например от паровой турбины.

А теперь конкретно: мы знаем, что магнитное поле выталкивает проводник с током (Т-55), а здесь, в генераторе, мы вынуждены вталкивать проводник с током в магнитное поле, которое, естественно, сопротивляется этому вталкиванию; чтобы преодолеть сопротивление магнитного поля, как раз и приходится затрачивать энергию — иначе не провернешь в магнитном поле обмотку, в которой должна навестись э.д.с.

Второе «Почему?» не только наивно, оно еще и весьма коварно. Мы сжигаем на электростанциях топливо (почти 90% всей электроэнергии мира вырабатывают тепловые электростанции) для того, чтобы пришла в движение паровая турбина и чтобы у нее были силы двигать обмотки в электрогенераторе. Генератор создает ток, который затем приходит на завод и приводит в движение станок. Или приходит в нашу квартиру и нагревает электроплитку. Так для чего же нужен этот посредник — электричество? Для чего нужны столь сложные преобразования — тепло — механическая работа — электричество — тепло? Или тепло — механическая работа — электричество — механическая работа? Не проще ли сразу, без посредников использовать механическую работу или тепло?

Вы сами легко ответите на подобные вопросы, если внимательно посмотрите вокруг, приглядитесь к тому, как работает электричество.

Электричество — это возможность перебрасывать энергию на огромные расстояния. И очень простые, удобные средства транспорта — не труба с горячим паром, не состав с углем, а всего лишь медный проводник нужен, чтобы миллиарды тружеников-электронов приступили к работе за сотни километров от электростанции.

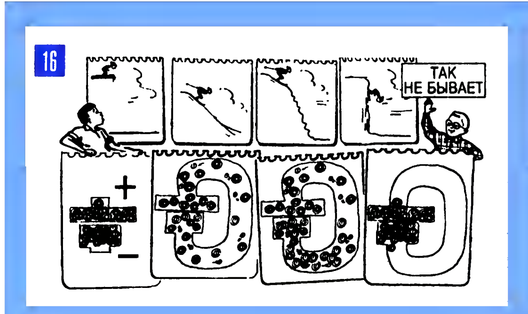
Электричество — это возможность делить энергию на любые порции. И распределять ее между огромным числом потребителей (Р-40): провел провод в квартиру — и пользуйся сколько нужно.

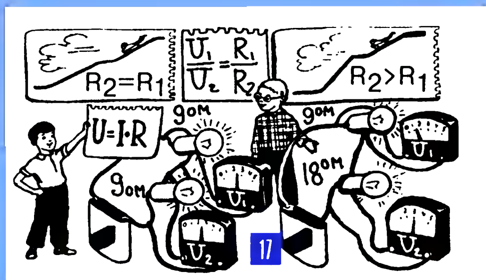
Электричество — это мгновенное превращение полученной энергии в любую нужную тебе форму — в свет, тепло, механическое движение. Это компактные простые и яркие источники света, компактные и простые ме-

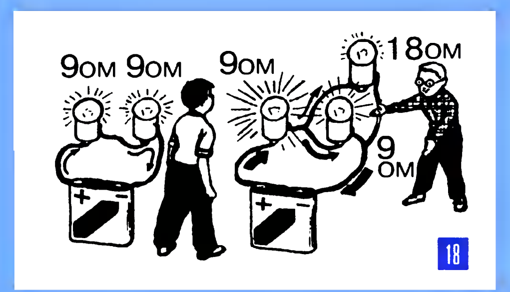
ханические двигатели и масса устройств и процессов, которых без электричества вообще не было бы (ускоритель, телевизор, компьютер). Одним словом, у электричества достаточно достоинств, чтобы было выгодно сначала превращать другие виды энергии в электроэнергию, а затем по мере необходимости производить обратные превращения.

Самый удобный способ получения наведенной э.д.с. — это вращение проводников (обмоток) в магнитном поле. Именно вращение — большинство машин-двигателей создают именно вращательное движение. К тому же оно позволяет легко получить переменный ток, который имеет массу достоинств.

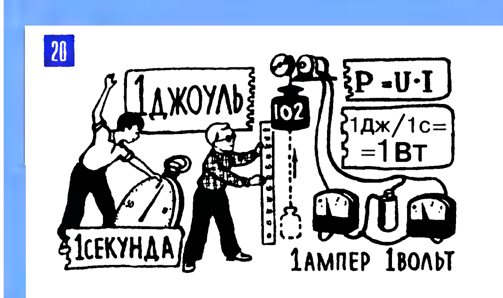
Но это уже следующая глава нашего повествования.

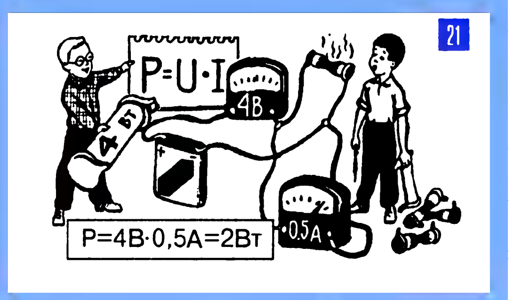












ГЛАВА 6

СЛОЖНЫЙ ХАРАКТЕР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Т-63

Т-63. Если в магнитном поле вращать проводник, то в нем наведется переменная синусоидальная э.д.с. Отмечая, что э.д.с., наведенная в проводнике, который движется в магнитном поле, зависит от скорости его перемещения, нужно помнить: речь идет не о движении вообще, куда угодно. Важно то, с какой скоростью проводник пересекает магнитное поле, с какой скоростью он движется перпендикулярно полю, перпендикулярно направлению, в котором поле повернуло бы пробную магнитную стрелку. Это поясняет рисунок Р-41, на котором показано движение проводника в магнитном поле в разных направлениях. Предполагается, что скорость движения во всех пяти примерах одна и та же — проводник за единицу времени, скажем за 1 *сек,* везде проходит одно и то же расстояние *а*.

В первых двух случаях (Р-41; 1, 2) проводник движется по направлению поля, движется в том же направлении, в котором поле устанавливает стрелку компаса. А поэтому наведенная э.д.с. равна нулю — чтобы э.д.с. навелась, проводник должен хоть сколько-нибудь сместиться поперек поля. Такое смещение, правда небольшое, мы видим на Р-41;3, здесь проводник по-прежнему продвинулся на расстояние *а*, но теперь он уже поперек поля сместился на расстояние $a_г$. В случае, показанном на рисунке Р-41;4, э.д.с. максимальна — проводник движется строго перпендикулярно полю. Такая же максимальная э.д.с. наведется и в случае Р-41;5. Здесь, правда, проводник движется в другом направлении и полярность э.д.с., конечно, меняется на обратную (по сравнению с Р-41; 4). Так бывает всегда: полярность наведенной э.д.с. всегда зависит от того, в каком направлении проводник пересекает магнитное поле, и определяется эта полярность по известному правилу правой руки (Р-37; 1).

Все рассмотренные примеры — это лишь подготовка к знакомству с простейшей моделью машинного электрического генератора, где проводник вращается в равномерном магнитном поле (Р-42). В таком проводнике индуцируется э.д.с., которая подводится к внешней электрической цепи с помощью скользящих контактов.

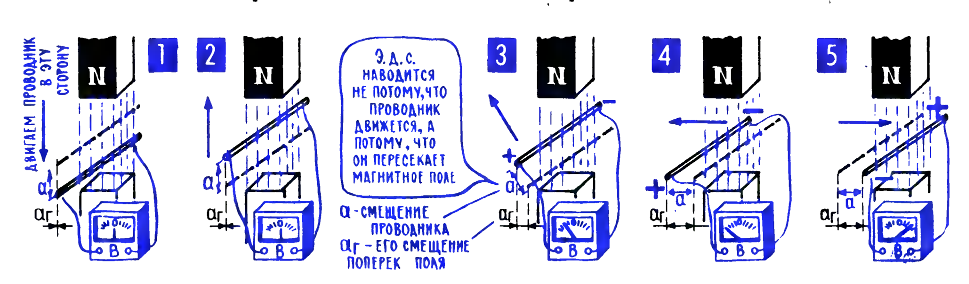
Проводник вращается в магнитном поле равномерно с постоянным числом оборотов в минуту. При этом он, естественно, с постоянной скоростью движется по окружности, но с разной скоростью пересекает магнитное поле. Когда, например, проводник проходит точки *3* и *7,* он с максимальной скоростью пересекает поле, хотя и в разных направлениях. В эти моменты в проводнике наводится э.д.с., наибольшая из всех возможных, но, конечно, разной полярности. Когда проводник проходит точки *1* и *5,* он вообще не пересекает магнитного поля, и наведенная э.д.с. в эти моменты равна нулю. Во

всех остальных точках наводится э.д.с. разной величины, в пределах от максимальной до нуля, причем на всем участке движения от точки *1* до *5* э.д.с. имеет одну полярность, а на всем участке от *5* до *1* — противоположную. Одним словом, на проводнике, который вращается в магнитном поле, наводится переменная э.д.с., непрерывно меняется ее величина и периодически меняется ее полярность. О том, как меняется наведенная э.д.с. при вращении проводника в магнитном поле, лучше всего рассказывает график.

Т-64. График — особый рисунок, наглядно показывающий, как одна какая-либо величина зависит от другой. Об одной из зависимостей закона Ома можно рассказать словами — «ток прямо пропорционален электродвижущей силе...», можно записать ее в виде короткой формулы (Р-16), а можно отобразить эту зависимость на графике, как это сделано на Р-43; 1. Основа графика — две взаимно перпендикулярные линии, две оси: вертикальная и горизонтальная. По вертикальной оси в определенном масштабе откладывают, отмеряют ту величину, об изменениях которой мы хотим рассказать. А по горизонтальной оси отмеряют ту величину, от которой зависит первая. «В определенном масштабе» означает, что если, например, отмеряется масса, то 1 *мм* на шкале может соответствовать 1 *г* или 1 *кг,* если отмеряется температура, то 1 *мм* — это уже может быть 1°, если ток — то 1 *мм* может отображать 1 *А,* если напряжение — 1 *В*. Отсчет ведется от нуля, то есть от точки пересечения осей. Т-64

На Р-43 показано, как с помощью графиков можно записать несколько самых разных зависимостей. Первая — зависимость тока I в цепи от напряжения U при некотором постоянном сопротивлении R. Строится график так: задаемся некоторыми значениями напряжения — 1 *В,* 2 *В,* 3 *В* и т. д.— и подсчитываем для них соответствующие величины тока по формуле закона Ома. При $R = 2$ *Ом* получается соответственно 0,5 *А,* 1 *А,* 1,5 *А* и т. д. Теперь из соответствующих точек на осях I и U проводим перпендикуляры до их пересечения и получаем на поле между осями точки, каждая из которых говорит: «при $U = 1$ *В* ток $I = 0{,}5$ *А*», «при $U = 2$ *В* ток $I = 1$ *А*», «при $U = 3$ *В* ток $I = 1{,}5$ *А*» и т. д. Соединяем точки и получаем линию, которая как раз показывает, как именно ток I зависит от напряжения U. Одного взгляда на график достаточно, чтобы сказать, что с увеличением напряжения ток растет, причем растет прямо пропорционально, или, иначе, линейно. Для экономии места можно на одном графике показать несколько зависимостей I от U при разных сопротивлениях цепи. Легко заметить, что с ростом сопротивления цепи R ток I при увеличении U нарастает не так резко. Графики могут также показать, что величина тока обратно пропорциональна сопротивлению, рассказать о зависимостях закона Ома для участка цепи, о том, как мощность зависит от тока или напряжения (Р-43; 2).

На графике Р-43;3 условно показано, как меняется масса космической системы при выведении спутника на околоземную орбиту. Сама масса в тоннах отложена по вертикальной оси, а по горизонтальной отложена высота



Р-41

подъема ракеты-носителя. На Земле (нулевая высота) общая масса системы — 20 *т* (цифры условные), затем по мере подъема выгорает топливо, и масса ракеты постепенно уменьшается. На высоте 40 *км* масса уменьшается резко, скачком — это отстреливается отработавшая первая ступень. Точно так же на высоте 100 *км* отстреливается вторая ступень, и на высоте 250 *км* — третья. Остается на орбите сам спутник (чистая масса 1 *т*), который движется по эллиптической орбите то несколько опускаясь, то поднимаясь над Землей (жирная линия на графике).

График (Р-43;4) показывает, как меняется с течением времени расстояние *l*, которое автомобиль проехал от города *А*. Мы видим, что первые два часа автомобиль шел с постоянной скоростью, каждый час покрывая 50 *км*. В последующие два часа скорость была больше — за каждый час машина уже проходила 100 *км*. А вот на графике появился горизонтальный участок — время идет, а пройденный путь остается неизменным, то есть машина стоит на месте. Потом водитель вообще поехал назад — линия графика пошла вниз, то есть расстояние от города *А* стало уменьшаться, скорее всего, водитель обнаружил какую-то неисправность и вернулся в дорожную мастерскую. После непродолжительной остановки машина вновь двинулась вперед.

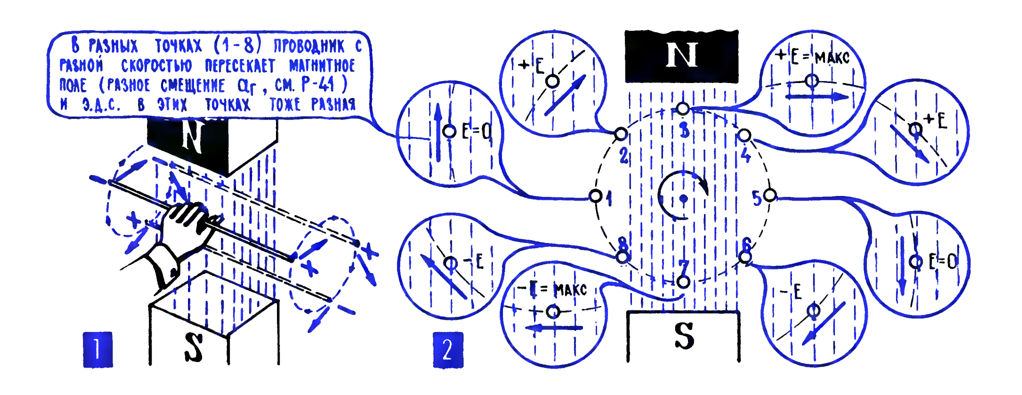
И еще один пример — график изменения температуры в течение суток (Р-43; 5). Мы видим, что температура почти все время меняется — только между 8 и 10 часами и между 12 и 13 часами она остается постоянной. В какие-то моменты времени температура меняется медленней, а в другие моменты резче. На этом графике мы впервые видим, как кривая (так часто называют линию, соединяющую точки графика) пересекает горизонтальную ось и уходит вниз. Так условились показывать, что изменяющаяся величина становится отрицательной. В данном случае это отрицательная температура, но точно так же строится график отрицательной э.д.с. или отрицательного тока (Р-44, Р-45).

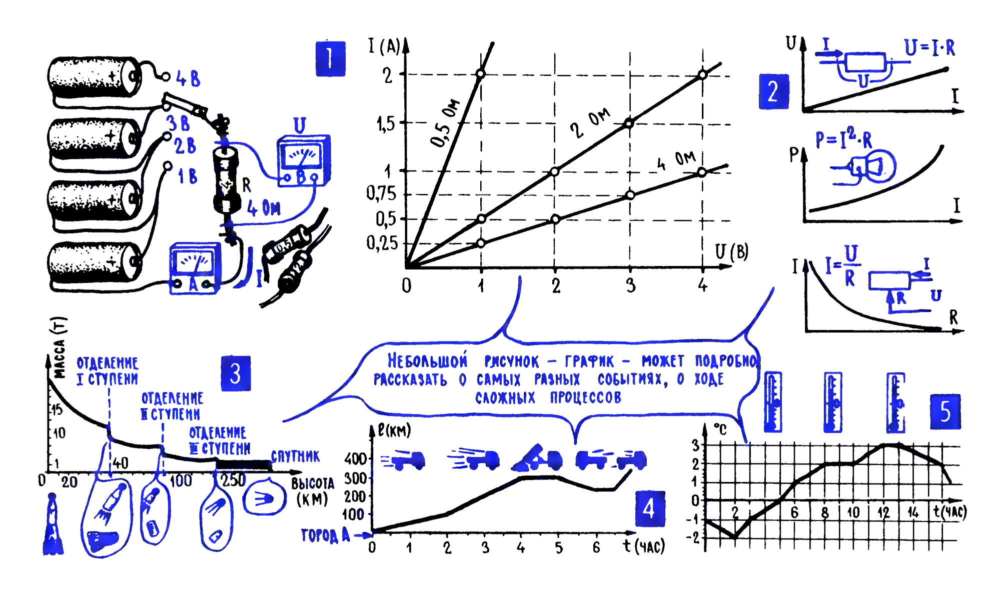
Нужно сказать, что сами названия «положительная э.д.с.» и «отрицательная э.д.с.» присвоены совершенно условно: они должны подчеркнуть, что меняется полярность генератора, его «плюс» и «минус» меняются местами. И одну из этих полярностей, часто совершенно безразлично какую, условно называют положительной, вторую — отрицательной.

Т-65

Т-65. График переменной э.д.с. показывает, как она меняется с течением времени. Отсчет отрицательной величины на графике, в частности отрицательной э.д.с., ведется так же, как и положительной, от горизонтальной оси, но уже, естественно, вниз: чем больше отрицательная э.д.с., тем ниже от гори-

Р-42





Р-43

зонтальной оси (ось времени) расположится соответствующая точка на графике.

На Р-44 показан график переменной э.д.с., которая наводится в проводнике при вращении его в магнитном поле (Р-42). График очень подробно рассказывает о процессе наведения э.д.с. Мы видим, как в какой-то момент э.д.с. достигает максимума — это проводник проходит точку *3* и с максимальной скоростью $v_г$ пересекает магнитное поле. Видим максимальную э.д.с., но уже другой полярности — проводник проходит точку 7. Наконец, график рассказывает, что дважды за каждый оборот проводник движется не поперек поля, а вдоль и затем меняет направление, в котором он пересекает поле. В эти моменты — они соответствуют точкам *1* и *5* — э.д.с. равна нулю, и в эти же моменты происходит смена ее полярности.

Т-66. Под действием переменной э.д.с. в цепи идет переменный ток, а на участках цепи действуют переменные напряжения. Все, что происходит в электрической цепи, подчиняется закону Ома, и если увеличивается или уменьшается э.д.с., то увеличивается или уменьшается ток, если меняется полярность генератора, то меняется направление тока (Р-45; 3). И также в полном соответствии с законом Ома (но уже для участка цепи, Т-37) переменный ток, проходя по какому-нибудь резистору, создает на нем переменное напряжение (Р-45; 4). Т-66

Переменный ток и переменное напряжение по пятам следуют за всеми изменениями э.д.с., и поэтому график переменного тока и график переменного напряжения будут точной копией графика переменной э.д.с. Очень часто кривую тока и кривую э.д.с. или напряжения располагают вообще на одном графике (Р-45; 5), сделав для этого две разметки вертикальной оси — одну разметку в вольтах для э.д.с. или напряжения, другую разметку в амперах для тока. Рассматривая такой двойной график, нужно помнить, что это всего лишь экономия бумаги, и ничего больше. Ни в коем случае нельзя сравнивать высоту этих кривых — они рассказывают о разных величинах, каждая начерчена в своем масштабе и общая у них только ось времени.

Т-67. Переменный ток может работать так же хорошо, как постоянный. От того, что переменная э.д.с. двигает заряды в разные стороны — то туда, то об- Т-67

Р-44

ПРОВОДНИКИ РАМКИ ВРАЩАЮТСЯ, СКОРОСТЬ ИХ СМЕЩЕНИЯ ПОПЕРЕК МАГНИТНОГО ПОЛЯ ($v_Г$) НЕПРЕРЫВНО МЕНЯЕТСЯ...

1

... И НА КОНЦАХ ПРОВОДНИКОВ НАХОДИТСЯ ПЕРЕМЕННАЯ Э.Д.С., КАК МЫ ВСКОРЕ УЗНАЕМ — СИНУСОИДАЛЬНАЯ (СМ. Р-50)

СКОЛЬЗЯЩИЕ КОНТАКТЫ

2

$v_Г$ МАКС

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ $v_Г$, А ЗНАЧИТ И Э.Д.С., МЕНЯЮТСЯ ПО ЗАКОНУ СИНУСА

ОТСЧЕТ ВРЕМЕНИ НАЧИНАЕТСЯ С ЭТОГО МОМЕНТА

ПЕРВЫЙ ОБОРОТ

ВТОРОЙ ОБОРОТ

3

E МАКС

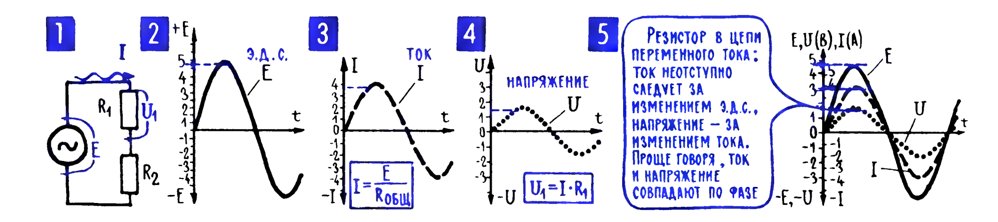
ратно, работоспособность этих зарядов ничуть не уменьшается. Они так же, как при однонаправленном, одностороннем движении, сталкиваются с атомами вещества, нагревают его, заставляют светиться. И магнитное поле переменный ток создает не менее успешно, чем постоянный, только направление этого магнитного поля непрерывно меняется: как только сменится направление тока, так поменяются местами северный и южный полюсы электромагнита. Во многих случаях эту неприятность научились обходить — существуют, в частности, двигатели переменного тока, которые работают ничуть не хуже, чем двигатели постоянного тока. В других же случаях замена «севера» на «юг» вообще не имеет значения. Вот пример. Электромагнит притягивает стальную деталь потому, что он намагничивает ее и тянет к себе, как обыкновенный магнит (Р-33; 5). Если же в обмотке электромагнита протекает переменный ток, то одновременно с изменением магнитного поля самого электромагнита меняется направление намагниченности стальной детали и ее притягивание не прекращается.

В тех же случаях, когда постоянный ток нельзя заменить переменным (или переменный — постоянным), можно, как мы скоро увидим, превратить один вид тока в другой.

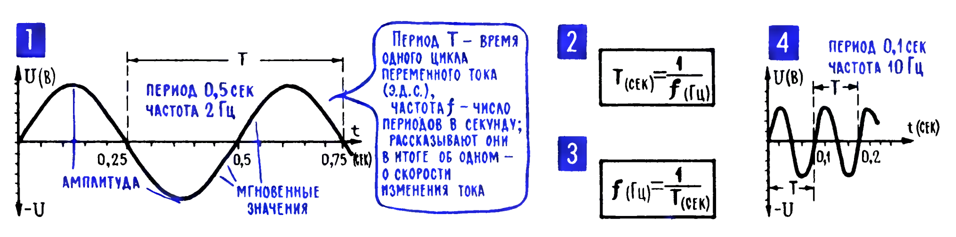
Т-68

Т-68. Частота говорит о том, насколько быстро меняется переменный ток; единица частоты — *герц*. О постоянном токе нам достаточно было знать одно — какова интенсивность движения зарядов, то есть то, что отражено в характеристике «величина тока», «сила тока». Переменный ток — явление значительно более сложное, и, чтобы судить о событиях в цепях переменного тока, нужна значительно более обширная информация. В частности, нужно знать, насколько быстро меняется ток, насколько часто происходит смена его направлений. Об этом в равной мере хорошо говорят две характеристики. Первая — период — указывает время, в течение которого переменный ток (э.д.с., напряжение), изменяясь, проходит весь свой цикл, все свои возможные значения. Вторая характеристика — частота — говорит о том, сколько периодов, то есть полных циклов изменения тока (э.д.с., напряжения) успе-

Р-45



Р-46



вает произойти за единицу времени. Единица частоты — *герц (Гц)* — число периодов в секунду. Ясно, что чем медленнее происходят изменения тока, чем дольше длится период, тем меньше (принято говорить «ниже») частота. И наоборот, с увеличением частоты период становится все более коротким (Р-46).

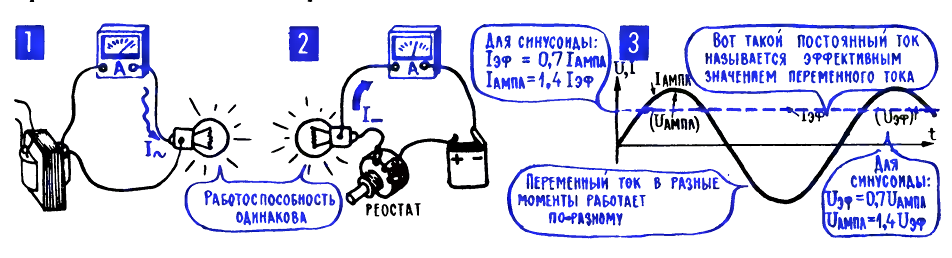
Т-69

Т-69. «Мгновенное значение» и «амплитуда» говорят о работоспособности тока в данный момент: «эффективное значение» — в среднем за длительное время. С постоянным током было просто: чтобы представить себе ток в цепи, достаточно было знать одну цифру. А вот что делать, если потребуется указать величину переменного тока? Какую цифру называть? Ток ведь переменный, величина его непрерывно меняется, и в какой-то момент по проводнику идет очень много свободных зарядов, в другой момент очень мало, в третий ни одного... Можно поступить так: указать силу тока и отметить, что она наблюдалась именно в такой-то момент. Например, так: «29 мая 1986 года в 18 часов 37 минут 26,57854 секунды ток в цепи был равен 5 амперам». Это будет мгновенное значение тока, ток в данный момент. Характеристика не очень удобная: нельзя же каждую микросекунду замерять ток, чтобы составить его подробное жизнеописание (Т-8).

Можно назвать наибольшее, амплитудное значение тока (э.д.с., напряжения), тот максимум, которого он достигает дважды за период. Кстати, наибольший ток (э.д.с., напряжение) во время положительного и отрицательного полупериода называют положительной и отрицательной амплитудой. Это уже вполне приемлемая характеристика, жаль только, рассказывает она о довольно редких событиях — амплитудный ток появляется на неуловимо короткое мгновение всего два раза за период.

Чтобы судить о том, что может сделать переменный ток не в какой-то «данный момент», а в среднем за длительное время, проще всего сравнить его действия с постоянным током. Пропустим, например, по лампочке переменный ток, и по такой же точно лампочке пропустим постоянный ток. Подберем величину этого постоянного тока так, чтобы обе лампочки светились одинаково. Это будет означать, что оба тока — постоянный и переменный — производят одинаковую работу. Так вот, эту величину постоянного тока, который по своей работоспособности эквивалентен переменному, называют эффективным значением этого переменного тока. Точно так же эффективное значение переменного напряжения (э.д.с.) — это есть некие постоянные напряжения с такой же работоспособностью.

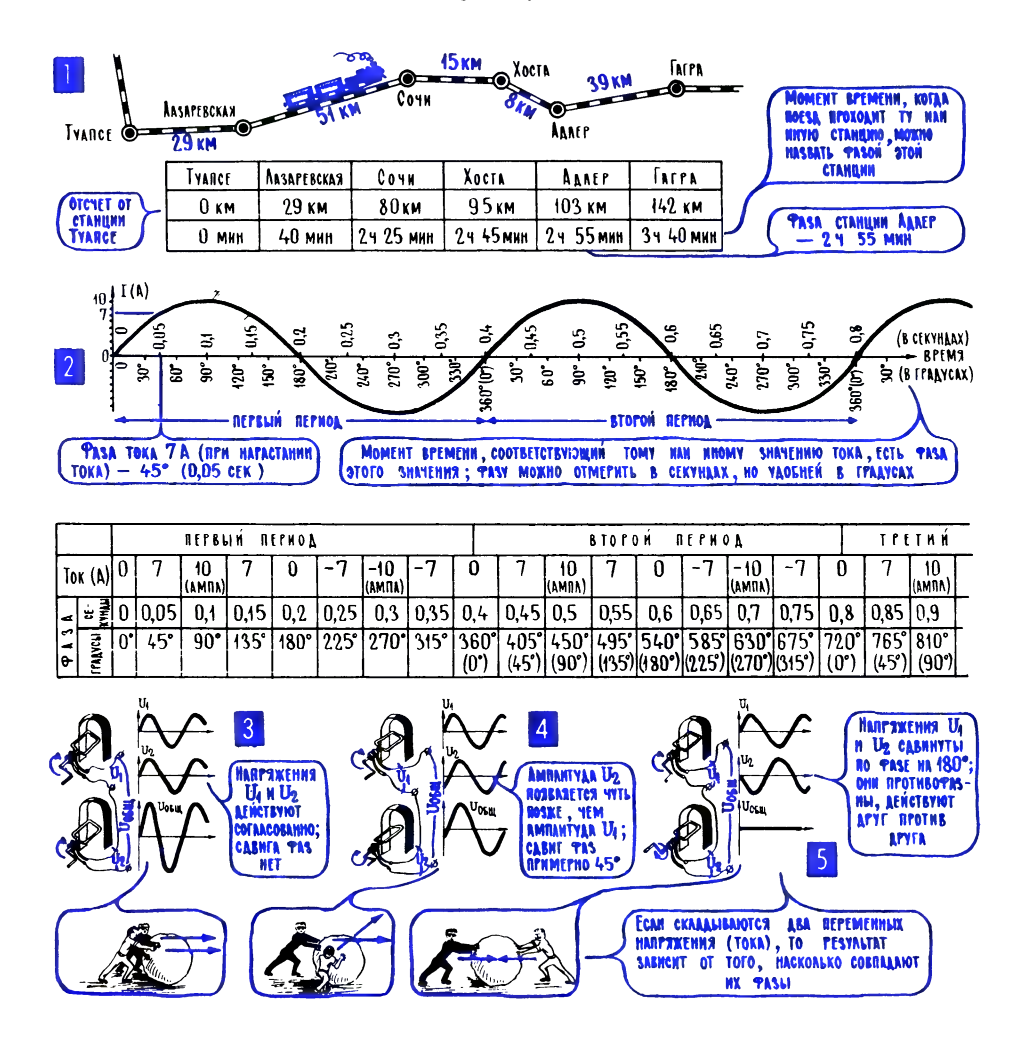
Р-47



При прочих равных условиях эффективный ток (э.д.с., напряжение) тем больше, чем больше амплитуда (атлет, поднимающий штангу в 200 килограммов, за день наверняка сумеет перенести больше грузов, чем малыш, который с трудом тащит легкую табуретку). Для переменной э.д.с. (напряжения, тока), которая наводится во вращающемся витке (Р-44; такая э.д.с. называется синусоидальной, и нам еще предстоит детальное знакомство с ней в Т-73), существует такое соотношение: эффективное значение составляет примерно 70% от амплитуды, а амплитуда соответственно в 1,4 раза больше эффективного значения (Р-47). Так, например, в сети переменного тока с напряжением 127 *В* амплитуда напряжения достигает 127 · 1,4 ≈ ≈ 180 *В*, а в сети 220 *В* амплитуда напряжения 220 · 1,4 = 308 *В*.

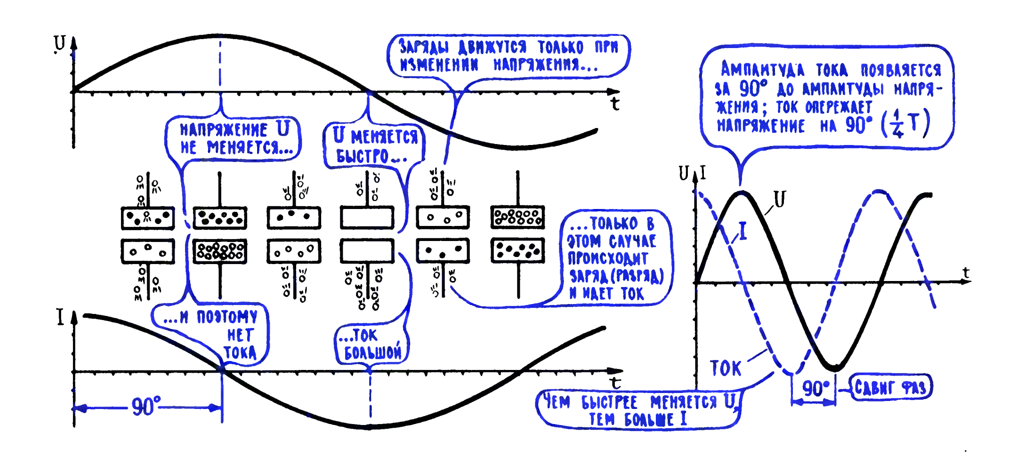
Для элементов цепей переменного тока, как правило, указывают их эффективные напряжения и токи: если на лампочке или утюге написано *«220 В»*, то имеется в виду именно эффективное напряжение.

Т-70. Фазу и сдвиг фаз удобно указывать не в секундах, а в градусах. Если не искать строгих определений, то можно сказать, что фаза — это такой параметр переменного тока, который указывает, в какой именно момент



Туапсе	Лазаревская	Сочи	Хоста	Адлер	Гагра
0 км	29 км	80 км	95 км	103 км	142 км
0 мин	40 мин	2 ч 25 мин	2 ч 45 мин	2 ч 55 мин	3 ч 40 мин

		Первый период								Второй период								Третий		
Ток (А)		0	7	10 (ампл)	7	0	−7	−10 (ампл)	−7	0	7	10 (ампл)	7	0	−7	−10 (ампл)	−7	0	7	10 (ампл)
Фаза	секунды	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
	градусы	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360° (0°)	405° (45°)	450° (90°)	495° (135°)	540° (180°)	585° (225°)	630° (270°)	675° (315°)	720° (0°)	765° (45°)	810° (90°)



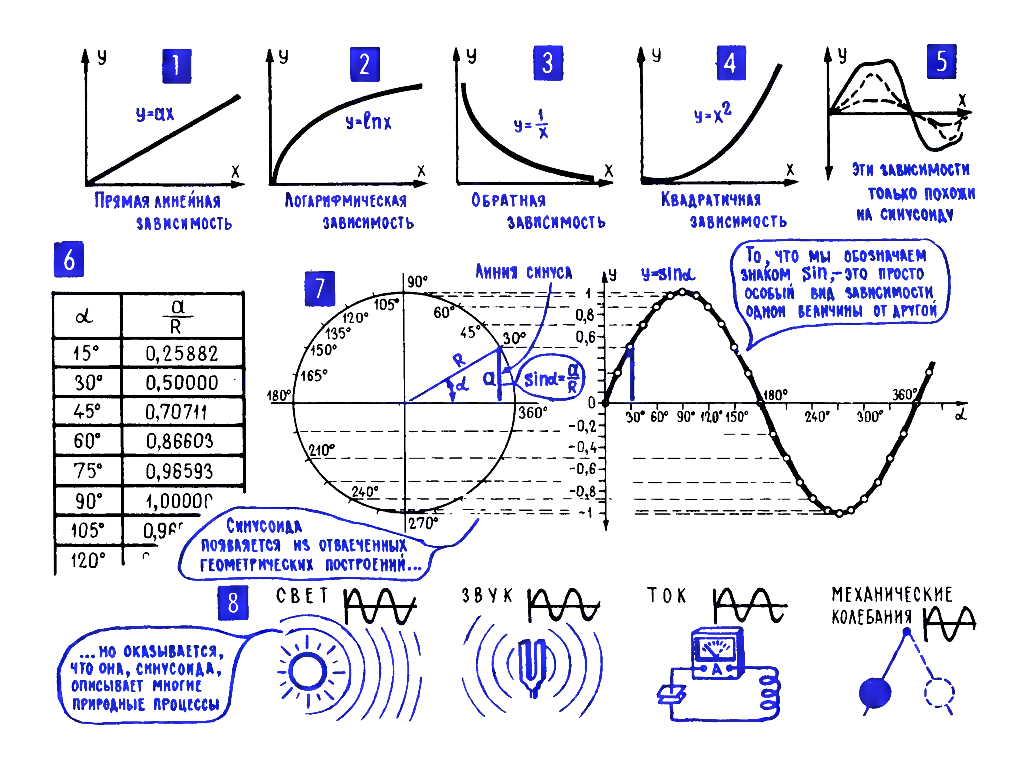
времени этот переменный ток (э.д.с., напряжение) имеет то или иное мгновенное значение. Поэтому, указывая фазу, мы должны были бы, например, говорить так: «У мгновенного значения тока 5 *А* фаза такая — 10 часов 37 минут 16,3785 секунды 19 декабря 1985 года». Конечно, вести отсчет от начала нашей эры и определять фазу по секундомеру не очень-то удобно. И главное, не нужно. Вполне достаточно вести отсчет фазы от какого-либо условного момента времени, скажем от начала периода, от того момента, когда переменный ток проходит через ноль и начинается положительный полупериод. И отсчитывать фазу удобно не в секундах, а в долях периода. Тогда фазу можно было бы, например, указывать так: «У мгновенного значения тока 5 *А* фаза — 5% всего периода». Из графика легко заметить, что фаза положительной амплитуды тока составляет 25%, или, иначе, 1/4 периода, фаза отрицательной амплитуды — 75%, или 3/4 периода, а фазы нулевых значений 0%, 50% и 100% от длительности целого периода.

Фазу принято отмерять не в процентах, а в градусах, каждый градус — это 1/360 часть периода, то есть градусами в данном случае отсчитывают не угол, не температуру, а время. Название единицы измерения во всех этих случаях одинаковое — градус, а единицы измерения разные. Кстати, градусы как меру времени, меру периода можно легко связать с угловыми градусами, показывающими положение проводника, который вращается в магнитном поле (Р-44. Р-48; 2).

Параметр «фаза» очень важен, а часто и необходим, например в тех случаях, когда в цепи действуют несколько переменных э.д.с. Чтобы оценить результаты такого взаимодействия, нужно знать, как сдвинуты фазы этих э.д.с. Насколько это важно, видно из примеров, приведенных на Р-48; 3, 4, 5. В первом случае нет сдвига фаз между двумя напряжениями, и их действия суммируются. А вот в третьем примере напряжения действуют друг против друга — сдвиг фаз между ними равен 180°, то есть, по сути дела, одно напряжение запаздывает по отношению к другому на полпериода. Или, что то же самое, на полпериода опережает его. Иногда фазу приходится учитывать еще и потому, что в цепи не совпадают по времени, то есть сдвинуты по фазе, напряжение и ток. В цепях переменного тока и такое возможно.

Т-71. Активное сопротивление: ток и напряжение совпадают по фазе. Активным называют сопротивление участка, если оно уменьшает ток в цепи, препятствует движению зарядов и одновременно отбирает у них часть мощности. Но разве бывает иначе? Разве может какой-либо элемент цепи препят- Т-71

Р-50



α	a/R
15°	0,25882
30°	0,50000
45°	0,70711
60°	0,86603
75°	0,96593
90°	1,0000
105°	0,96
120°	

ствовать электрическому току и в то же время не отбирать у него энергию? Оказывается, может. Понятие «активное сопротивление» понадобилось именно потому, что есть, оказывается, элементы электрических цепей, которые оказывают сопротивление току, но мощности при этом не отбирают. О таких элементах говорят, что у них реактивное сопротивление.

События на участке с активным сопротивлением беспрекословно подчиняются закону Ома в том виде, в каком он был установлен для постоянного тока (Т-31 или Т-37). Амплитуда тока, например, равна амплитуде э.д.с., деленной на сопротивление, эффективное напряжение равно эффективному току, умноженному на сопротивление (Р-47), и т. д. Поэтому и максимум тока наблюдается точно в тот же момент, что и максимум напряжения, то есть между током и напряжением нет никакого сдвига фаз (Р-45; 5).

Т-72

Т-72. Под действием переменного напряжения в цепи конденсатора идет переменный ток. Постоянный ток через конденсатор не проходит — в диэлектрике просто нет свободных зарядов, которые могли бы создавать ток, и включение конденсатора в цепь постоянного тока равносильно разрыву этой цепи. Однако же в момент, когда конденсатор заряжается или разряжается, ток в цепи идет — заряды идут к обкладкам или уходят с них (Р-29). И такое движение зарядов будет происходить в цепи при любом изменении напряжения на конденсаторе. Увеличится напряжение, значит, пойдут на обкладки дополнительные заряды и на какое-то мгновение появится зарядный ток в цепи. Уменьшится напряжение — и часть зарядов уйдет с обкладок, появится кратковременный разрядный ток, ток обратного направления.

Теперь легко представить себе, что произойдет, если подвести к конденсатору переменное напряжение. Поскольку напряжение непрерывно меняется, то конденсатор будет непрерывно заряжаться и разряжаться, а значит,

в цепи конденсатора будет непрерывно идти ток. Через диэлектрик заряды, как всегда, не проходят, они лишь двигаются к обкладкам конденсатора (напряжение растет, конденсатор заряжается) или с обкладок (напряжение падает, конденсатор разряжается), но это движение зарядов как раз и есть ток в цепи конденсатора. На Р-49 показан график такого тока. Как видно из этого рисунка, ток несколько сдвинут по фазе относительно напряжения, и график тока имеет ту же синусоидальную форму, что и само напряжение. То, что все получается именно так, требует некоторых пояснений.

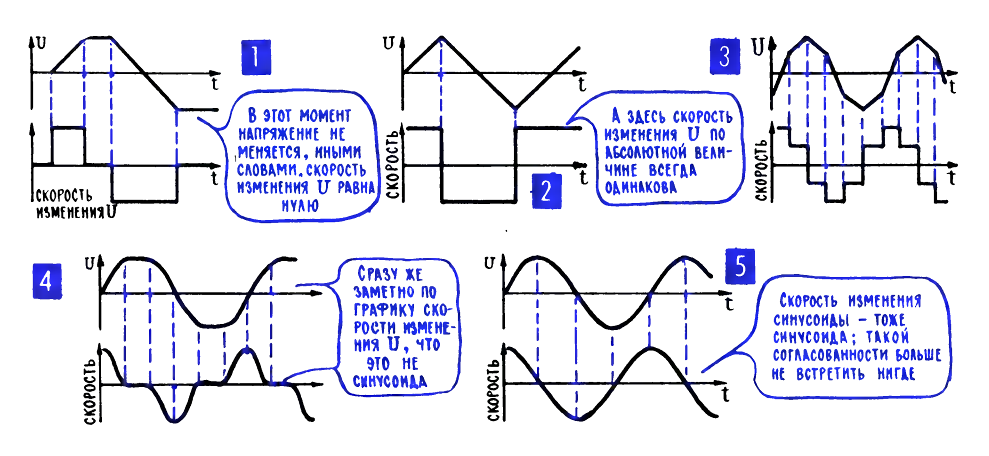
Т-73

Т-73. Замечательная кривая — синусоида описывает множество самых разных процессов. В мире происходит бессчетное множество естественных и искусственных процессов, в которых одни какие-нибудь величины зависят от других каких-нибудь величин. Температура звезды зависит от плотности ее вещества, вес зайца — от количества съеденной им травы, скорость автомобиля — от количества сжигаемого бензина, ток в цепи — от э.д.с. генератора и т. д. и т. п. Зависимости эти бывают самые разные (Р-50), в том числе и описываемые чрезвычайно сложными уравнениями. Но среди всех возможных зависимостей одной величины от другой особое место занимает та, которую мы называем синусоидальной. Она была открыта очень давно при исследовании некоторых геометрических построений, но потом оказалось, что именно такая синусоидальная зависимость характерна для самых различных природных явлений.

У синусоиды чисто табличное происхождение. Если мобилизовать фантазию, то можно представить себе, как безвестный древний математик нарисовал круг, провел через центр две перпендикулярные оси и, вращая по кругу радиус, стал измерять длину линии *a*, которую он назвал «линией угла» или, что то же самое, «линией синуса» (Р-50; 7). Свои измерения наш математик свел в таблицу (Р-50; 6), в которой было всего две строки — угол α поворота радиуса и цифра, показывающая, какую часть от длины радиуса R составляет при данном угле α длина линии синуса a. По этой таблице затем была построена кривая, которую мы и называем синусоидой. Можно, конечно, нарисовать много кривых, похожих на синусоиду (Р-50; 5), но синусоидой называется только одна (Р-50; 7). Именно та, которая в точности соответствует таблице (Р-50; 6).

О замечательных особенностях синусоиды, о том, почему она оказалась столь универсальной, можно написать целые тома: по синусоиде меняется энергия звуковой волны, скорость маятника, отклонение колеблющейся струны, э.д.с. в проводнике, который вращается в магнитном поле, и происходят

Р-51



тысячи других процессов (Р-50; 8). Но сейчас нас прежде всего интересует одна особенность синусоидальной зависимости, которую нетрудно заметить, если всмотреться в ее график.

Т-74 **Т-74. Скорость изменения синусоидальной э.д.с. (напряжения, тока) также изменяется по синусоидальному закону.** В свое время мы обратили особое внимание на то, что в ряде случаев важна не абсолютная величина, чего-либо (объема воды, пройденного пути, тока), а скорость ее изменения (Т-59). Подтверждение этой истины в цепях переменного тока можно встретить на каждом шагу, и поэтому посмотрим, чему, например, равна скорость изменения переменного синусоидального напряжения (Р-51).

Сначала общее замечание: синусоидальное напряжение в разные моменты меняется с разной скоростью. Иногда график его идет круто (напряжение меняется резко, быстро), иногда более полого (напряжение меняется вяло, сравнительно медленно), иногда идет вверх (напряжение нарастает), иногда вниз (напряжение уменьшается). Это бывает не только у синусоидальных напряжений (Р-51; 1, 2, 3, 4), но важно еще, как именно меняется скорость изменения напряжения.

Начнем с начала периода, когда синусоидальное напряжение (Р-51; 5) только что прошло через ноль и очень быстро нарастает. В этот момент скорость его изменения самая большая; дальше кривая идет все более полого, то есть скорость нарастания напряжения постепенно уменьшается. Наконец, в момент, когда оно достигло амплитуды, скорость его изменения равна нулю — изменение напряжения как бы на мгновение прекратилось и вслед за этим оно начнет уменьшаться. Отметим этот факт так — будем считать, что скорость нарастания напряжения стала отрицательной.

Постепенно напряжение уменьшается все быстрее и быстрее, а значит, скорость его уменьшения (отрицательная скорость) все нарастает. Наконец скорость достигает максимума (это отрицательная амплитуда скорости) в момент, когда напряжение проходит через ноль и когда меняется его полярность. Перевалив через ноль, напряжение сначала меняется очень резко, но затем, как это уже было в самом начале, скорость его изменения постепенно уменьшается, приближается к нулю. Ноль скорости соответствует отрицательной амплитуде напряжения, а после этого скорость вновь становится положительной — раз отрицательное напряжение уменьшается, то нужно считать, что напряжение нарастет (если на дворе было минус 10 градусов, а стало минус 5, то мы говорим, что потеплело, температура поднялась).

Если тщательно проследить за тем, как меняется синусоидальное напряжение, то окажется, что скорость его изменения — это тоже синусоида, но только сдвинутая по отношению к синусоиде самого напряжения ровно на 90 градусов (Р-51; 5). Подобное совпадение (скорость изменения синусоиды тоже синусоида) ни в каких других зависимостях не встретишь. На Р-51 несколько примеров того, как меняется скорость изменения самых разных переменных напряжений, и везде, кроме Р-51; 5, напряжение и скорость его изменения — совершенно разные графики.

То, что мы установили для синусоидального напряжения (его скорость меняется по такому же синусоидальному закону, как и само напряжение), относится к любому другому процессу, график которого — синусоида.

Т-75 **Т-75. Синусоидальное напряжение создает синусоидальный ток через конденсатор; ток опережает напряжение на 90 градусов.** Для начала попробуем постепенно менять постоянное напряжение на конденсаторе, подключив его к делителю напряжения. Оказывается, чем резче мы меняем напряжение, тем больше ток. И это вполне объяснимо. Если, например, взять конденсатор

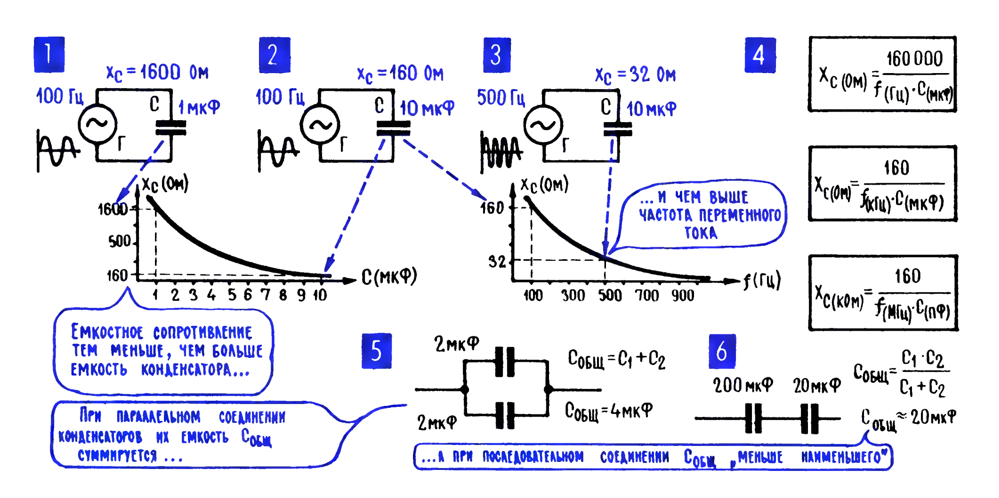
емкостью 1 *Ф* и изменить на нем напряжение на 1 *В*, то на обкладках накопится лишний кулон зарядов. Если напряжение изменилось на 1 *В* за 1 *сек*, то этот кулон придет на обкладки за 1 *сек* и в цепи пойдет ток 1 *А* (1 *А* = 1 *К* за 1 *сек*). А если увеличить напряжение на 1 *В* за 10 *сек*, то есть менять напряжение в десять раз медленнее, то и ток будет в десять раз меньше: теперь 1 *К* зарядов пройдет по цепи за 10 *сек*, то есть за 1 *сек* пройдет 0,1 *К*. Это как раз и есть ток силой в 0,1 *А*.

Теперь мы можем подтвердить правильность графиков Р-49. Напряжение, действующее на конденсаторе, все время будет создавать ток в цепи. Потому что напряжение все время меняется и заряды все время то приходят на обкладки конденсатора, то уходят с них. Наибольший ток будет в те моменты, когда напряжение меняется с максимальной скоростью, то есть когда оно проходит через нуль. Во время амплитуды напряжения ток становится равным нулю: какое-то неуловимое мгновение напряжение как бы не меняется — оно уже перестало расти, но еще не начало уменьшаться. Когда напряжение растет, мы считаем ток положительным, когда напряжение падает, направление тока меняется на обратное, и мы называем это направление отрицательным.

Если к конденсатору подведено синусоидальное напряжение, то скорость его изменения тоже синусоида, и поэтому в цепи течет синусоидальный ток. Построив график тока, можно убедиться, что между ним и напряжением существует сдвиг фаз 90° (четверть периода), причем ток опережает напряжение. Это не нужно понимать так, будто ток появляется раньше, чем мы прикладываем к конденсатору напряжение; подобное невозможно. Просто амплитуда тока наступает на четверть периода раньше, чем амплитуда напряжения (Р-49).

Т-76. Емкостное сопротивление показывает, как конденсатор влияет на величину тока. Конденсатор никакой мощности от генератора не потребляет. В какие-то моменты, правда, генератор затрачивает усилия на то, чтобы зарядить конденсатор, но конденсатор честно возвращает полученную энергию во время разряда. Этим он очень напоминает пружину, которая что берет, то и отдает.

Однако же конденсатор влияет на величину тока в цепи. Так, в частности, ток в цепи будет тем больше, чем больше емкость конденсатора. Потому что с увеличением емкости возрастает число зарядов, которое может накопиться



на обкладках (при том же напряжении), а значит, и число зарядов, циркулирующих в цепи. Иными словами, чем больше емкость, тем при прочих равных условиях больше ток в цепи.

Величина тока, как мы только что установили, зависит еще и от того, с какой скоростью меняется напряжение: чем больше эта скорость, тем больше ток. Ясно, что чем выше частота переменного напряжения, тем быстрее оно меняется, тем, следовательно, больше ток в цепи конденсатора. Или, иными словами, если переменное напряжение с частотой 10 *Гц* создаст в цепи конденсатора ток 5 *мА*, то такое же по величине напряжение, но с частотой 100 *Гц* создаст в той же цепи ток уже 50 *мА*.

Чтобы удобнее было учитывать влияние емкости C и частоты f на ток, их сводят в единую гибридную величину и называют ее емкостным сопротивлением x_C (Р-52). И, пользуясь этим сопротивлением, для цепи переменного тока с конденсатором получают стандартные формулы закона Ома, такие же удобные, как и для цепи с резисторами.

Т-77 **Т-77. Синусоидальный ток в катушке индуктивности отстает от синусоидального напряжения на ней на 90 градусов.** Тот факт, что по катушке индуктивности пойдет переменный ток, если подвести к ней переменное напряжение, не вызывает никаких сомнений: катушка намотана проводом, а ток идет по любому проводнику. Однако то, что в этом случае происходит в цепи катушки, определяется не только сопротивлением проводника, из которого эта катушка изготовлена.

Вспомните, если в катушке меняется ток, на ней наводится э.д.с. самоиндукции, которая тем больше, чем выше скорость изменения тока (Т-57). А это значит, что в катушке, по которой идет синусоидальный ток, наведется синусоидальная э.д.с. самоиндукции: скорость изменения синусоидального тока тоже меняется по синусоидальному закону. Но э.д.с. самоиндукции всегда препятствует изменениям тока, и есть только одна сила, которая может противодействовать этой мешающей э.д.с. поддерживать переменный ток в цепи. Эта сила — внешнее напряжение, которое действует на катушке, то есть часть э.д.с., которая достанется этой катушке от генератора. Чтобы компенсировать э.д.с. самоиндукции, внешнее напряжение должно бить по ней в противофазе, то есть со сдвигом на 180°, на полпериода. Построив графики всех трех «героев» этого сражения, легко убедиться, что ток в катушке отстает от напряжения на ней на 90° (Р-53; 7).

Т-78 **Т-78. Индуктивное сопротивление показывает, как катушка влияет на величину тока.** Теперь о соотношении между током и напряжением. Это соотношение автоматически устанавливается таким образом, чтобы мешающая току э.д.с. самоиндукции в точности уравновешивалась бы напряжением на катушке. С подобным автоматизмом мы уже встречались: постоянное напряжение на последовательных резисторах автоматически распределялось так, чтобы ток во всей цепи был одинаковым (Т-37; Т-40). Вот пример работы автоматики в катушке, по которой идет переменный ток. Допустим, что в какой-то момент вышла из повиновения и сама по себе увеличилась в два раза амплитуда тока. При этом, конечно, увеличится и скорость его возрастания: если, например, раньше за 1 *сек* ток нарастал до амплитуды 1 *А*, то теперь он будет за ту же секунду нарастать до 2 *А*, то есть скорость нарастания тока будет в два раза больше. А значит, возрастет э.д.с. самоиндукции и, мешая току, уменьшит его.

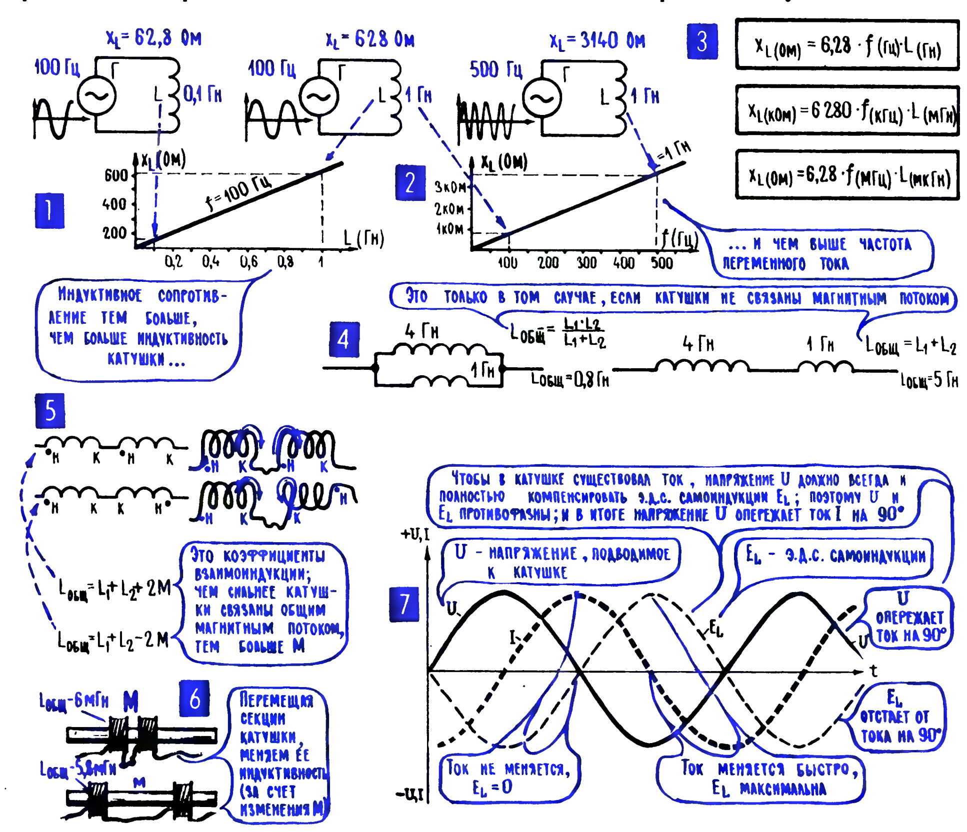
Посмотрим, что случится, если мы увеличим частоту переменного тока, не меняя напряжения, которое подводится к катушке. В этом случае увеличится скорость изменения тока (чем выше частота, тем быстрее меняется

ток), а значит, увеличится связанная с ней мешающая э.д.с. И тут же автоматически уменьшится ток в цепи, а вместе с ним и э.д.с. самоиндукции. Причем уменьшатся они именно настолько, чтобы внешнее напряжение могло беспрепятственно двигать по цепи заряды, создавать ток. (Это чем-то напоминает грузовик, который сам меняет свою скорость в зависимости от рельефа дороги.)

То же самое произойдет, если увеличить индуктивность катушки — и в этом случае ток автоматически уменьшится и потянет за собой мешающую э.д.с. самоиндукции, не позволяя ей одолеть внешнее напряжение. Одним словом, и увеличение частоты, и увеличение индуктивности влечет за собой уменьшение тока в катушке или, при неизменном токе, увеличение напряжения на ней. Это позволяет объединить частоту и индуктивность в общей характеристике — индуктивном сопротивлении x_L — получить с его помощью простые формулы закона Ома (Р-56; 2).

Кстати, катушка, если пренебречь сопротивлением ее проводов, так же, как и конденсатор, оказывается не активным, а реактивным элементом цепи. Индуктивное сопротивление x_L так же, как емкостное x_C, влияет на величину тока, но мощности от генератора не потребляет: все, что в какие-то моменты катушка отбирает у него на создание магнитного поля, она отдает генератору обратно, когда это поле исчезает.

Т-79. С помощью конденсаторов и катушек можно создавать фильтры — электрические цепи, которые по-разному пропускают токи разных частот. Сопротивление реактивных элементов — конденсатора и катушки — зави-



сит от частоты. Эта их особенность может оказаться весьма нежелательной в тех случаях, когда по цепи с конденсатором и катушкой идут переменные токи разных частот и нужно создать для всех этих токов равные условия. Когда нужно, никому не отдавая предпочтения, одинаково хорошо или одинаково плохо — главное одинаково! — пропускать по цепи токи любых частот. Конденсатор или катушка, разумеется, помешают этому равноправию. По-разному сопротивляясь токам разных частот, конденсатор или катушка в разной степени будут ослаблять эти токи (Р-54; 2, 3).

Конденсатор и катушка — источники так называемых частотных искажений, с которыми нам еще предстоит сталкиваться и бороться.

Но зато реактивные элементы незаменимы, когда нужно разделить токи разных частот, протекающие в общей цепи. Например, когда некоторые из них нужно пропустить в нагрузку легко, а другим вообще преградить путь в нее, пустить их по другому пути. Здесь, конечно, реактивные элементы незаменимы, только у них развито «чувство частоты», только конденсатор и катушка могут разделить токи разных частот, одни из них пропуская легко, другим оказывая большое сопротивление.

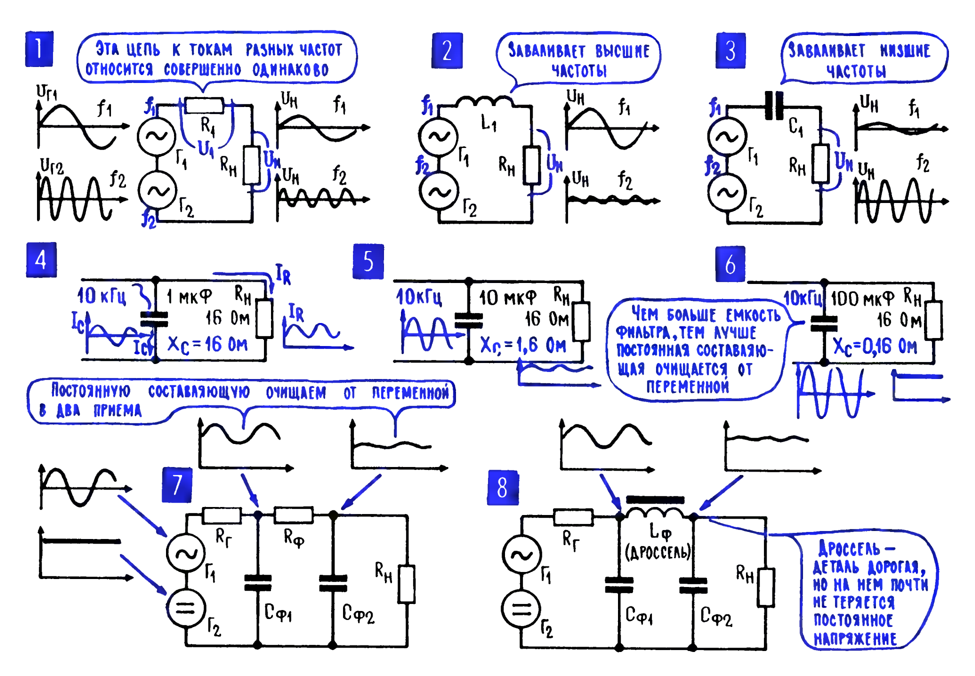
Цепи, в которых происходит сортировка и разделение токов разных частот, называются **фильтрами**. Обычно это не очень большие цепи, чаще всего они состоят из двух-трех элементов, в числе которых обязательно конденсатор или катушка или оба реактивных элемента одновременно. Фильтры чрезвычайно широко используются в электронных устройствах. Точной статистики, конечно, никто не делал, но, по-видимому, половина всех элементов электронных схем работает в фильтрах на своей основной работе или по совместительству. Схемы фильтров очень разнообразны, но в них всегда используются одни и те же принципы, которые можно хорошо увидеть на простейших примерах.

Фильтры бывают параллельные и последовательные. Примеры последовательных фильтров — на Р-54; 2, 3. Пример простейшего параллельного RC-фильтра — на Р-54; 4. Здесь происходит отделение переменного тока от постоянного: постоянный ток через C не пойдет, у него есть только один путь — через $R_н$. Так что одна задача — получение чистого переменного тока — в таком фильтре решается автоматически. Можно и постоянный ток выделить из его смеси с переменным. Для этого нужно, чтобы на данной частоте f (частота переменного тока) емкостное сопротивление x_C конденсатора C было во много раз меньше, чем $R_н$ (Р-54;5,6). Тогда переменный

С-7

С-7. ЕМКОСТНОЕ X_C И ИНДУКТИВНОЕ X_L СОПРОТИВЛЕНИЕ НА РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ f И ДЛЯ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЕМКОСТИ C И ИНДУКТИВНОСТИ L

f	50 Гц		1000 Гц		20 кГц		200 кГц		10 мГц	
C	1000 мкФ	0,1 мкФ	100 мкФ	0,1 мкФ	100 мкФ	0,1 мкФ	0,1 мкФ	500 пФ	0,01 мкФ	10 пФ
x_C	3,2 Ом	32 кОм	1,6 Ом	1,6 кОм	0,08 Ом	80 Ом	8 Ом	1,6 кОм	1,6 Ом	1,6 кОм
L	1 Гн	50 мГн	1 Гн	50 мГн	1 Гн	50 мГн	50 мГн	1 мГн	100 мкГн	5 мкГн
x_L	320 Ом	16 Ом	6,4 кОм	320 Ом	128 кОм	6,4 кОм	64 кОм	1,28 кОм	6,4 кОм	320 Ом



ток в основном пойдет по пути наименьшего сопротивления, то есть через $C_ф$, а через $R_н$ пойдет чистый (точнее, почти чистый) постоянный ток.

Чтобы получить нужное x_C на данной частоте, достаточно подобрать емкость конденсатора с помощью простых расчетных формул (Р-52; 4) и справочных таблиц С-7. Эти таблицы еще раз напоминают, что величину x_C на равных определяют и емкость C, и частота f, поэтому для получения одного и того же x_C на низких частотах емкость должна быть значительно больше, чем на высоких.

Другая группа фильтров — делители напряжения, отдельные участки которых имеют разное сопротивление на разных частотах. Поэтому разные (по частоте) токи создают на этих участках разные напряжения. Или иначе — фильтр-делитель в разной пропорции делит подведенные к нему напряжения разных частот.

Весьма распространенный фильтр с делителями показан на Р-54;7. Его задача — получить на сопротивлении нагрузки $R_н$ по возможности чистое постоянное напряжение, в то время как на входе действуют два одинаковых напряжения — постоянное и переменное. Задача решается так. Сначала оба напряжения делятся делителем $R_г C_{ф1}$ и передаются дальше, в сторону нагрузки с нижней части делителя, с $C_{ф1}$. При этом, естественно, постоянное напряжение полностью остается на $C_{ф1}$ (так как сопротивление конденсатора для постоянного тока бесконечно велико), а что касается переменного напряжения, то лишь небольшая часть его остается на малом емкостном сопротивлении этого конденсатора — его емкость именно так подбирается, чтобы x_C было меньше, чем $R_н$.

Дальше еще один делитель $R_ф C_{ф2}$. На его нижнем участке переменное напряжение уже совсем мало — большая часть переменного напряжения достается сопротивлению фильтра $R_ф$. На этом сопротивлении, правда, теряется и часть постоянного напряжения, но в данном случае подобные потери неизбежны.

Аналогичным образом создаются и RL-фильтры. В них катушка, в общем, делает то же дело, что и конденсатор (катушка по-разному ведет себя на разных частотах), ну а конкретно — все делает наоборот, в отличие от конденсатора, оказывает большее сопротивление тем токам, частота которых выше (Р-53, С-7).

Чтобы усилить эффект фильтрации, эффект разделения разночастотных переменных токов и напряжений, иногда в одном фильтре объединяют конденсатор с катушкой. Один из примеров такого фильтра — на Р-54;8. Его задача та же, что и в фильтре Р-54; 7, но здесь вместо $R_ф$ включена катушка $L_ф$. Катушку, применяемую в фильтре, часто называют дросселем, что можно перевести на русский как «глушитель». В данной схеме дроссель $L_ф$ глушит переменные токи, для них он представляет большое сопротивление x_L. А постоянные токи дроссель, наоборот, пропускает беспрепятственно. Точнее, почти беспрепятственно: постоянный ток ощущает только активное сопротивление провода, из которого намотан дроссель. Так что фильтр Р-54; 8 отличается тем, что он закрывает путь к нагрузке переменным токам, не причиняя вреда постоянному. Или скажем иначе: на $L_ф$ практически не теряется часть постоянного напряжения, как она терялась на $R_ф$ в фильтре Р-54; 7. Несмотря на все это, значительно чаще применяют фильтры с резисторами. Потому что дроссель — деталь более сложная и более дорогая, чем резистор, и применение ее не всегда оправданно.

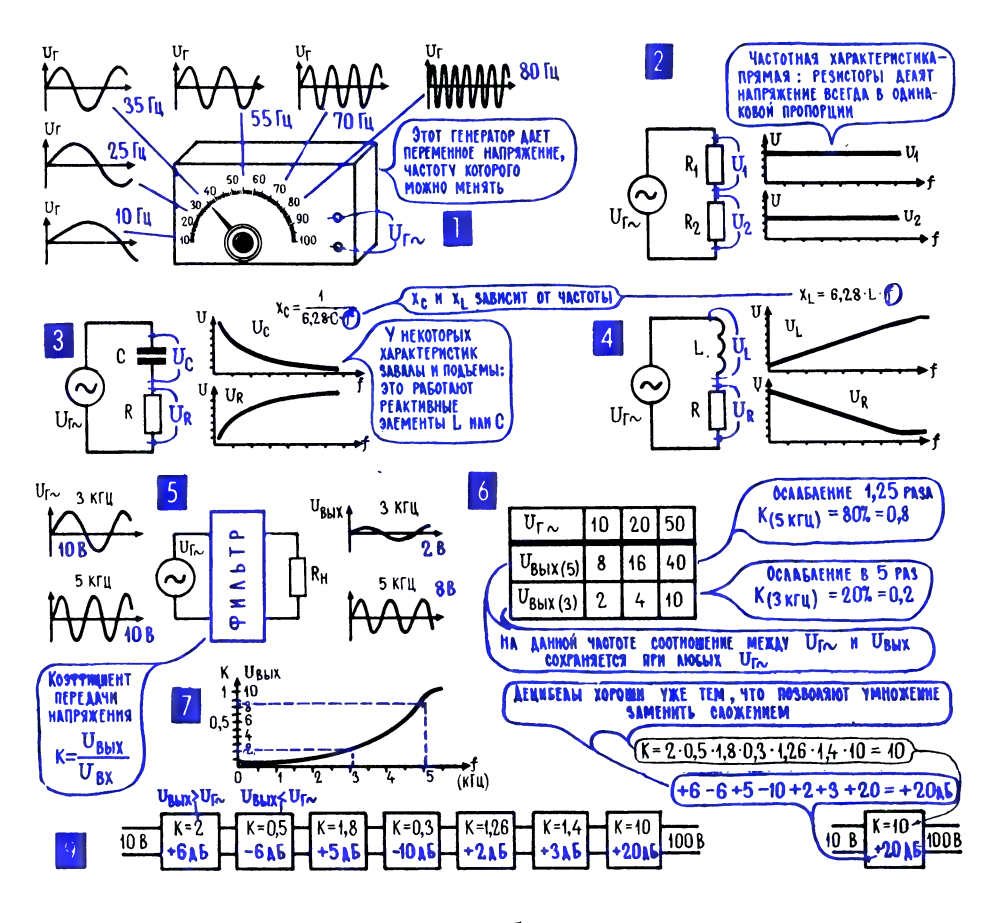
В радиоэлектронной аппаратуре очень часто можно встретить особый LC-фильтр, так называемый колебательный контур. Но прежде чем знакомиться с ним, нужно сказать несколько слов о том, как с помощью графиков описывают основные «черты характера» электрического фильтра.

Т-80 **Т-80. Частотная характеристика — график, рассказывающий о том, как ведет себя электрическая цепь на разных частотах.** Представим себе, что в нашем распоряжении есть генератор переменной э.д.с., частоту которой можно плавно изменять поворотом ручки. Так же, например, как поворотом ручки мы меняем громкость звучания в приемнике. Такие генераторы реально существуют, и вскоре мы познакомимся с их практическими схемами. А пока представьте себе, что это обычный машинный генератор, в котором можно менять скорость вращения проводника, а значит, и частоту генерируемой э.д.с. При этом, правда, появляется серьезный недостаток: чем быстрее вращается проводник, тем больше частота переменной э.д.с., но одновременно увеличивается и сама э.д.с., так как проводник быстрее пересекает магнитное поле. Предположим, что этот недостаток устранен — в генератор ввели автомат, который будет поддерживать выходное напряжение на одном уровне, например включая в цепь дополнительные сопротивления.

Но не стоит, однако, вдаваться в подробности, они сейчас несущественны. Считаем, что у нас есть генератор (Р-55; 1), который дает синусоидальное напряжение любой нужной частоты, и на всех частотах сама величина напряжения (число вольт) одинакова.

Если подключить к нашему генератору делитель из резисторов (Р-55;2), то на любом из них напряжение не будет меняться с частотой: на всех частотах резисторы имеют одно и то же сопротивление и делят общее напряжение в одной и той же пропорции.

А вот в делителях, куда входят реактивные элементы — конденсаторы и катушка,— все по-другому. Об этом как раз и рассказывают графики Р-55;3,4. Графики эти называются частотными характеристиками, они показывают, как с изменением частоты меняется напряжение на выходе фильтра при неизменном напряжении на его входе. В справедливости приведен-

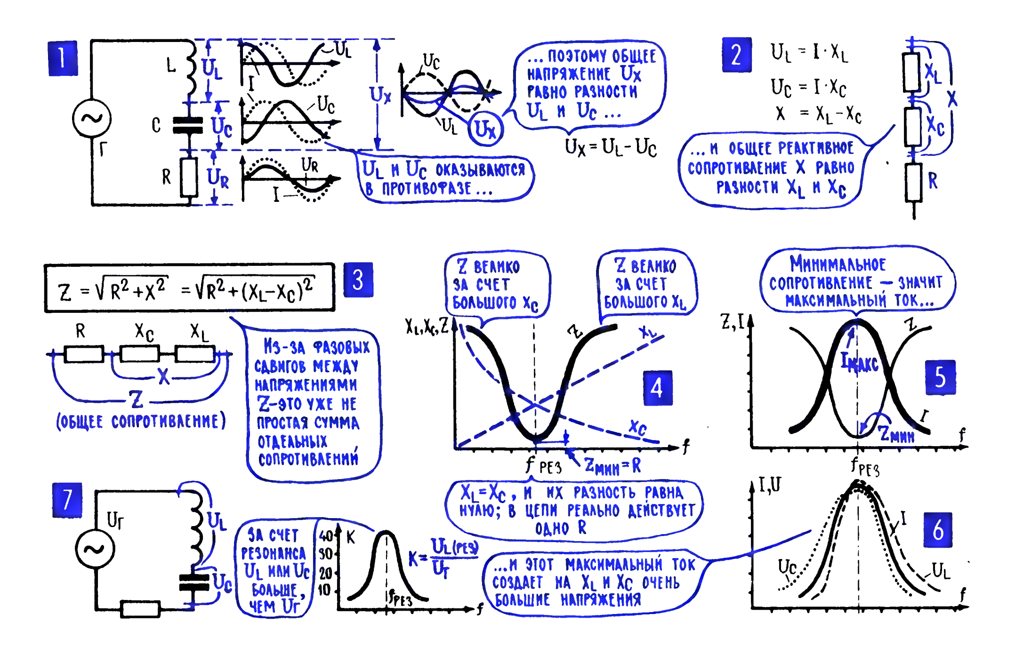


Uг~	10	20	50
Uвых(5)	8	16	40
Uвых(3)	2	4	10

ных частотных характеристик легко убедиться, если взглянуть на схемы фильтров, к которым эти характеристики относятся. Так, например, в простейшем *RC*-фильтре с частотой уменьшается напряжение на конденсаторе *C*, потому что уменьшается его емкостное сопротивление. И если нужно «задавить» высшие частоты или, иначе, поднять низшие, напряжение следует снимать именно с конденсатора. А на резисторе *R* с увеличением частоты напряжение, наоборот, растет. Общее напряжение делится на U_R и U_C, чем меньше одно из них, тем больше другое. И если нужно выделить более высокочастотные напряжения, если нужно поднять высшие частоты над другими, напряжение нужно снимать именно с резистора.

Т-81. Коэффициент передачи показыват, во сколько раз напряжение или ток на выходе больше или меньше, чем на входе. Все графики на Р-55 могут быть построены для конкретных величин напряжений и токов. Не вдаваясь в устройство какого-либо фильтра, нарисуем его в виде прямоугольничка (Р-55;5) и для определенности будем считать, что при входном напряжении $U_Г = 10$ *В* выходные напряжения на частотах 3 *кГц* и 5 *кГц* соответственно равны 2 *В* и 8 *В*. А что будет, если входное напряжение увеличится вдвое и составит 20 *В*? Тогда и выходные напряжения тоже увеличатся в два раза и составят соответственно 4 *В* и 16 *В* (Р-55; 6). Без долгих рассуждений можно сказать, что любое увеличение или уменьшение входного напряжения повлечет за собой такое же (во столько же раз) увеличение или умень- Т-81

Р-56



шение выходных напряжений. И для данного конкретного фильтра на данных частотах соотношение между входным напряжением и выходными есть величина постоянная.

Но стоит ли в таком случае характеризовать действие фильтра численными значениями напряжений и токов, вольтами и амперами? Не лучше ли ввести общую характеристику фильтра, которая показывала бы, на каких частотах во сколько раз ослабляется переменное напряжение или переменный ток? Тогда, зная эту характеристику, можно всегда подсчитать, какое напряжение будет на выходе фильтра при данном напряжении на его входе, еще раз, кстати, подтвердив полезность общих представлений (Т-5). Такая характеристика существует, она называется коэффициентом передачи фильтра и обозначается чаще всего буквой *К* (Р-55; 5, 6). На каждой частоте у фильтра свой коэффициент передачи *К*, в этом, собственно, и состоит особенность фильтрующих цепей. Зависимость коэффициента передачи *К* от частоты есть одна из разновидностей частотной характеристики.

Т-82 **Т-82. Децибел — универсальная единица, показывающая, во сколько раз одна величина больше или меньше другой.** В каких единицах нужно измерять коэффициент передачи? Вполне подошла бы для этого единица «раз» или хорошо известные проценты. Ведь мы так и говорим: «На частоте 3 *кГц* напряжение ослабляется в пять раз... на частоте 5 *кГц* — в 1,25 раза...» Однако чаще используется не «раз», а другая единица — *децибел,* сокращенно *дБ*. Она названа так по имени изобретателя телефона Александра Белла. Децибел — единица универсальная, она применяется для того, чтобы показать отношение любых двух величин — напряжений, токов, давлений, мощностей, скоростей и других. Переход от характеристики «во столько-то раз» к децибелам и обратно проще всего произвести с помощью справочной таблицы С-9. Если коэффициент передачи меньше единицы, то есть если фильтр или другой элемент цепи уменьшает напряжение (ток), то децибелы получаются отрицательные. А если коэффициент передачи больше единицы, то есть если выходное напряжение (ток) больше входного (так

тоже бывает, и вы очень скоро в этом убедитесь), то децибелы — положительные.

Особо нужно сказать о той строке справочной таблицы С-9, в которой указано отношение мощностей, соответствующее тому или иному числу децибел. Мы хорошо знаем, что между мощностью и током и между мощностью и напряжением существует квадратичная зависимость. То есть если увеличить напряжение или ток на каком-то участке цепи в два раза, мощность возрастет в четыре раза (Т-41). Эта зависимость как раз и находит отражение в таблице: во сколько бы раз ни изменилось напряжение (ток), мощность изменится в то же число раз, возведенное в квадрат.

Децибел — единица логарифмическая, и с этим связаны ее многие достоинства. Так, например, если вы знаете, что переменное напряжение подается на один фильтр и ослабляется им на 20 *дБ*, а затем поступает на другой фильтр и там ослабляется еще на 30 *дБ*, то общее ослабление подсчитывается как сумма $(-20) + (-30) = -50$ *дБ*.

По справочной таблице С-9 легко определить, что напряжение в этом случае ослабляется в 316 раз и мощность в 10 000 раз.

Другой пример. На частоте 10 *Гц* коэффициент передачи фильтра $K_{10} = -60$ *дБ* (выходное напряжение составляет 0,001 от входного или, иначе, фильтр ослабляет напряжение на этой частоте в 1000 раз), а на частоте 500 *Гц* фильтр ослабляет напряжение уже всего в 10 раз, то есть коэффициент передачи $K_{500} = -20$ *дБ*. Если вы хотите узнать, насколько эффективно действует фильтр, насколько на его выходе напряжение с частотой 10 *Гц* будет меньше, чем напряжение с частотой 500 *Гц*, нужно найти разность децибелов для K_{10} и K_{500}. Эта разность равна $(-60) - (-20) =$

С-9

С-9. ДЕЦИБЕЛЫ

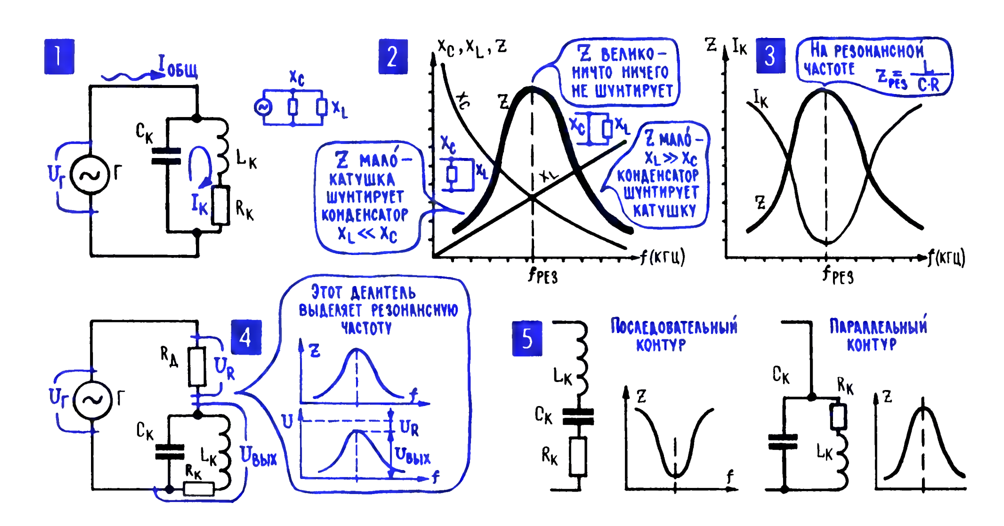
В первой строке этой таблицы помещены некоторые числовые значения децибел (*дБ*); во второй строке соответствующие этим децибелам соотношения двух токов или двух напряжений, или, что то же самое, двух звуковых давлений; и, наконец, в третьей строке помещены соответствующие данному числу децибел соотношения мощностей, или, что то же самое, соотношения силы звука.

Во второй и третьей строках таблицы числа показывают, во сколько раз один ток больше другого или во сколько раз одна мощность больше другой и т. д. Если речь идет о повышении тока (напряжения, мощности и т. д.), то число децибел принято считать положительным, если же происходит ослабление тока (напряжения, мощности и т. д.), то число децибел считается отрицательным и перед ним ставится знак «минус». Так, например, запись «20 *дБ*» или «+20 *дБ*» означает, что происходит усиление тока в десять раз и мощности в сто раз (соотношение тока и мощности всегда квадратичное), а запись «—20» означает, что происходит ослабление тока в десять раз и мощности в сто раз.

дБ	1	2	3	6	10	20	30	40	50	60
$\frac{I'}{I''}$	1,112	1,26	1,41	2	3,16	10	31,6	100	316	1000
$\frac{P'}{P''}$	1,26	1,58	2	4	10	100	1000	10^4	10^5	10^6

Примечание. Можно получить соотношения между числом «раз» и «децибел», не приведенные в таблице; для этого нужное число *дБ* получают, суммируя значения, имеющиеся в первой строке таблицы, и перемножают соответствующие им значения из второй или третьей строки. Так, например, 80 *дБ* (60 + 20) соответствует усилению тока в 10 000 раз (10 · 1000), увеличению мощности в 10^8 раз ($100 \cdot 10^6$).

Р-57



= —40 *дБ*, и по таблице определяем, что на выходе фильтра одно из напряжений будет меньше другого в 100 раз (одно составит 1% другого).

Оценка коэффициента передачи в децибелах введена нами с далеким прицелом. В дальнейшем мы еще будем пользоваться децибелами и привыкнем к ним, как привыкли к метрам или килограммам. А пока вернемся к схемам фильтров и рассмотрим, каким же образом колебательный контур (*LC*-фильтр) оказывает наибольшее благоприятствование одной определенной частоте.

Т-83 **Т-83. В последовательной L, C, R цепи индуктивное сопротивление действует против емкостного.** Для начала извлечем из памяти три уже установленные истины. Первое — во всех элементах последовательной цепи течет один и тот же ток (Т-36). Второе — ток через конденсатор опережает напряжение на 90° (Т-75); об этом можно сказать иначе — напряжение на конденсаторе отстает от тока на 90°. Третье — ток через катушку отстает от напряжения на ней на 90° (Т-77); об этом можно сказать иначе — напряжение на катушке опережает ток в ней на 90°. Если, обогащенные этими воспоминаниями, мы взглянем на последовательную цепь *LCR* (Р-56; 1), то увидим, что напряжение U_L на катушке и напряжение U_C на конденсаторе сдвинуты по фазе на 180°. То есть они действуют друг против друга. Напряжения U_L и U_C зависят от соответствующих реактивных сопротивлений x_L и x_C. А поскольку по всем элементам проходит один и тот же ток I, то соотношение между напряжением U_L и U_C зависит только от соотношения между сопротивлениями x_L и x_C.

Т-84 **Т-84. На резонансной частоте резко падает общее сопротивление последовательной L, C, R цепи, и ток в ней возрастает.** Попробуем подключить к последовательной *LCR*-цепи генератор с изменяемой частотой (Р-55; 1) и будем постепенно увеличивать частоту его переменного напряжения. При этом индуктивное сопротивление будет постепенно увеличиваться, а емкостное — постепенно уменьшаться (Р-56; 4). На какой-то частоте — давайте сразу же назовем ее резонансной частотой $f_{рез}$ — сопротивления x_L и x_C станут равными и, значит, уравняются напряжения U_L и U_C. А так как эти напряжения противофазны, то они полностью скомпенсируют друг друга и генератор вообще перестанет чувствовать присутствие реактивных элементов, перестанет отдавать им часть своей э.д.с. Общее сопротивление цепи

Z резко уменьшится, для генератора из всей цепи останется только одно активное сопротивление R, ток I из-за этого резко возрастет (Р-56; 5) и столь же резко увеличатся напряжения U_L и U_C (Р-56; 6). Но заметьте, увеличатся каждое в отдельности, а общее суммарное напряжение на обоих реактивных элементах U_x, как уже говорилось, будет равно нулю.

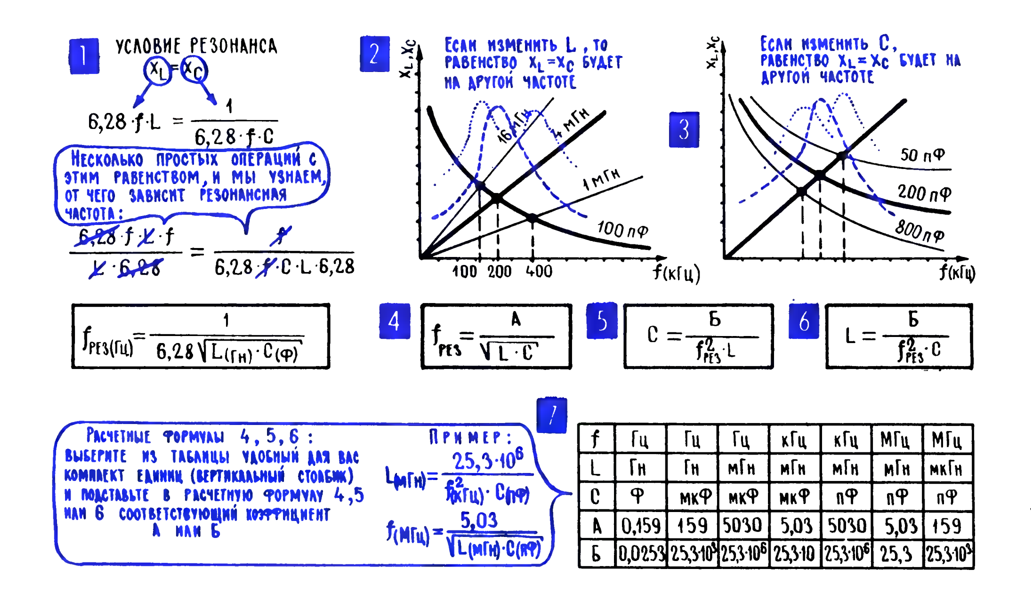
Весь этот процесс называется последовательным резонансом или резонансом напряжений. Если после резонанса продолжать увеличивать частоту, то x_L станет больше, чем x_C, и в цепи в основном начнет действовать индуктивное сопротивление. Ток уменьшится, а вместе с ним уменьшатся и напряжения U_L и U_C.

Как видите, в последовательном контуре на особом положении оказывается только резонансная частота $f_{рез}$. Именно на этой частоте резко возрастает ток, возрастают напряжения на отдельных элементах. А это как раз и означает, что последовательный контур из всех переменных токов особо выделяет ток одной определенной частоты.

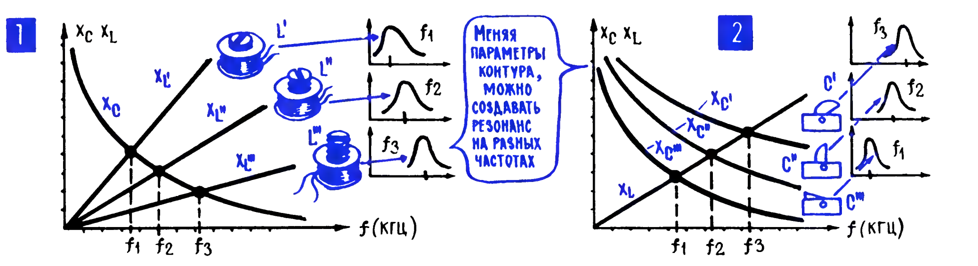
Т-85. На резонансной частоте сопротивление параллельного контура резко возрастает. В самом упрощенном виде параллельный LC-контур можно рассматривать как цепь, состоящую из двух параллельно соединенных сопротивлений x_L и x_C (Р-57). На низших частотах сопротивление x_L мало и катушка шунтирует конденсатор. На высших частотах мало сопротивление x_C и конденсатор шунтирует катушку. И лишь на резонансной частоте никто никого не шунтирует и общее сопротивление параллельного контура оказывается весьма большим. При этом, естественно, уменьшается общий ток в цепи генератора (Р-57; 3) — это вполне согласуется с законом Ома. И еще одна интересная деталь: если включить параллельный контур в делитель напряжения (Р-57; 4), то этот контур за счет своего большого сопротивления на резонансной частоте будет выделять только напряжение этой частоты из всех напряжений, подводимых к делителю. Т-85

Т-86. Подбором индуктивности (емкости) меняем резонансную частоту. Почему резонанс наблюдается именно на такой частоте, а не на другой? Почему резонансная частота не выше или не ниже? И можно ли как-либо Т-86

Р-58



f	Гц	Гц	Гц	кГц	кГц	МГц	МГц
L	Гн	Гн	мГн	мГн	мГн	мГн	мкГн
C	Ф	мкФ	мкФ	мкФ	пФ	пФ	пФ
A	0,159	159	5030	5,03	5030	5,03	159
Б	0,0253	$25{,}3 \cdot 10^3$	$25{,}3 \cdot 10^6$	$25{,}3 \cdot 10$	$25{,}3 \cdot 10^6$	25,3	$25{,}3 \cdot 10^3$



влиять на эту частоту, можно ли сделать так, чтобы контур выбирал не тот ток, какой ему захочется, а тот, который нам нужен?

Чтобы кратчайшим путем добраться до ответов на эти вопросы, проведем маленький эксперимент. Изменяя частоту, доведем контур до резонанса (Р-58; 2) и для определенности предположим, что этот резонанс наблюдается на частоте 200 *кГц*. Теперь возьмем и уменьшим индуктивность катушки $L_к$. Из-за уменьшения $L_к$ уменьшится индуктивное сопротивление x_L и тут же нарушится равенство $x_L = x_C$. А значит, нарушится равенство $U_L = U_C$ и никакого резонанса в цепи уже не будет. Чтобы восстановить резонанс, нужно постепенно увеличивать частоту переменного напряжения, которое поступает с генератора. С увеличением частоты начнет расти x_L, уменьшаться x_C, и на какой-то частоте они вновь уравняются, в цепи вновь наступит резонанс.

Такой же точно результат получится, если уменьшить не индуктивность L, а емкость C контура (Р-58; 3). Или если одновременно уменьшать индуктивность L и емкость C. В этих случаях резонанс тоже будет наблюдаться на более высокой частоте.

Вывод из этих экспериментов такой: частота $f_{рез}$, на которой наблюдается резонанс, определяется параметрами самой LC-цепи. С уменьшением L и C резонансная частота повышается, с увеличением L и C резонансная частота понижается (Р-58, Р-59). На Р-58; 1 показано, как, исходя из условия резонанса $x_L = x_C$, можно путем простейших преобразований получить точную формулу для $f_{рез}$, а на Р-58; 4, 5, 6 приведены удобные расчетные формулы, с помощью которых можно найти $f_{рез}$ при известных L и C или подобрать L и C, чтобы получить резонанс на нужной частоте.

То, что мы узнали о резонансном фильтре — колебательном контуре,— это лишь небольшая часть важных сведений о нем. Хорошо бы, например, еще узнать, от чего зависит высота резонансной кривой, почему некоторые контуры резко увеличивают ток на резонансной частоте, а другие повышают его лишь в небольшой степени. Или другой вопрос — отчего зависит ширина резонансной кривой, чем определяется полоса частот, близких к $f_{рез}$, на которых, хотя и не в полной мере, но все же заметны резонансные явления? И еще: одну и ту же резонансную частоту можно получить при разных соотношениях L и C, если, например, в два раза увеличить индуктивность контура и в два раза уменьшить его емкость, то резонансная частота не изменится. Что же выгодней — добиваясь нужной резонансной частоты, делать контур с большой индуктивностью и маленькой емкостью или наоборот?

Несколько позже мы постепенно по ходу дела обсудим эти вопросы (Т-167, Т-168, Т-169, Т-211, Т-212, Т-213, Т-214), открывая для себя многие интересные особенности колебательных контуров. Ну а пока, подводя предварительный итог знакомства с резонансным фильтром, с контуром, сфор-

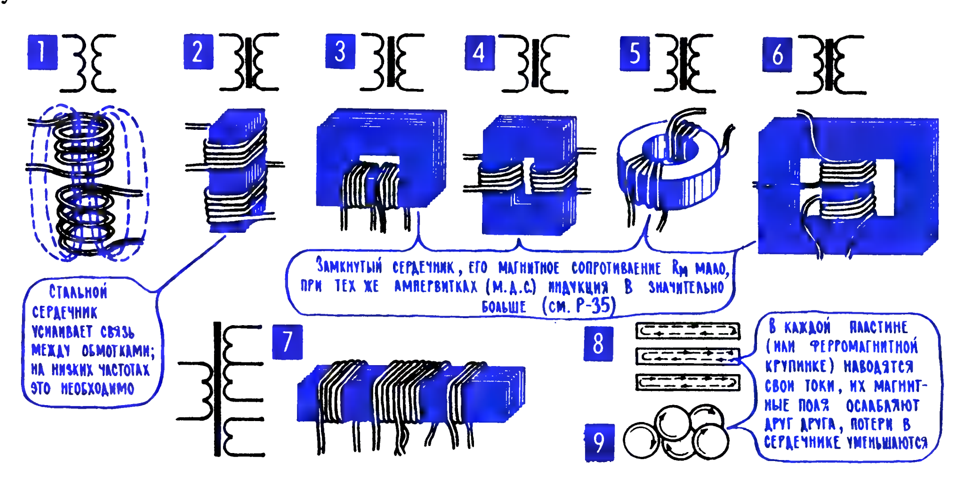
мулируем главные его особенности. Во-первых, из многих переменных токов с разными частотами контур умеет выбирать ток определенной частоты; во-вторых, изменяя L или C контура, можно добиться, чтобы из сложного аккорда извлекался ток (напряжение) нужной нам частоты (Р-59).

Т-87. Трансформатор увеличивает либо напряжение, либо ток, ни в коем случае, однако, не увеличивая мощность. Используя явление взаимоиндукции, можно передавать электрическую энергию из одной цепи в другую без непосредственного контакта между ними. Устройство, которое осуществляет такую передачу, это и есть трансформатор, в переводе — преобразователь. Т-87

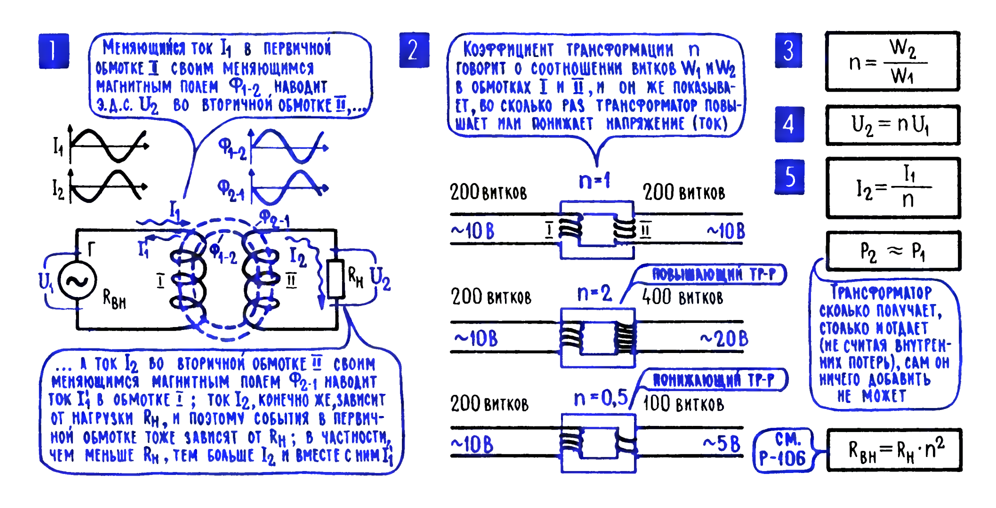
В простейшем случае трансформатор — это две обмотки, связанные общим магнитным потоком $Ф$ (Р-60). В некоторых трансформаторах магнитный поток замыкается по воздуху (Р-60; 1), в других — через ферромагнитный сердечник стержневой (Р-60; 2), замкнутый кольцевой (Р-60; 3, 4, 5) и «ш-образный» (Р-60; 6). В трансформаторах часто бывает несколько обмоток (Р-60; 7).

Коротко о сердечниках. Сердечники делают из стали, а иногда из пермаллоя, ферромагнитного материала, более дорогого, но зато со значительно большей магнитной проницаемостью (С-6). Сердечники, как правило, собраны из пластин или свиты из тонкой ленты. Это связано с тем, что в самом сердечнике тоже наводится ток, и, если не принять мер, он окажется весьма большим: сердечник — это, по сути дела, короткозамкнутый виток, обмотка с малым сопротивлением. В итоге сердечник будет греться, отбирать значительную мощность. А вот в пластинчатом сердечнике токи в соседних пластинах создают магнитные поля, которые действуют друг против друга (Р-60; 8). И в итоге общая мощность, пожираемая сердечником, резко уменьшается.

Потери в сердечнике увеличиваются с частотой, и для высокочастотных трансформаторов и катушек уже недостаточно пластинчатых сердечников. Ферромагнитный материал измельчают, а затем крупинки спрессовывают с помощью изолирующих смол (Р-60; 9), создают так называемые магнитодиэлектрики (С-10). И опять токи в отдельных крупинках порождают враждующие магнитные поля, потери в сердечнике уменьшаются. При этом, правда, уменьшается результатирующая магнитная проницаемость, но что поделаешь, иначе сердечник для высокочастотных катушек вообще не получишь.



Р-60



Если подвести к первичной обмотке I переменное напряжение от генератора, то в этой обмотке пойдет переменный ток I_1 (Р-61; 1). Он создаст переменное магнитное поле F_{1-2}, под действием которого наведется напряжение U_2 во вторичной обмотке II, и если подключить к ней нагрузку $R_н$, то в этой нагрузке пойдет ток I_2. (Точнее было бы говорить о наведенной э.д.с., но мы сразу же введем напряжение U_2, полагая, что какая-то часть э.д.с. теряется на сопротивлении самой вторичной обмотки.) Если U_1 синусоидальное напряжение, то и U_2 тоже будет синусоидальным: наведенное напряжение зависит от скорости изменения тока (Т-60), а скорость изменения синусоиды — тоже синусоида (Т-74).

Величина наведенного напряжения U_2 зависит от нескольких факторов. Например, от того, насколько магнитный поток первичной обмотки пронизывает вторичную: чем бóльшая часть этого потока рассеивается, тем, при прочих равных условиях, наведенное напряжение будет меньше. Вот почему обмотки трансформатора во многих случаях располагают на замкнутом ферромагнитном сердечнике, по этому сердечнику замыкается практически весь поток, и все магнитное поле первичной катушки пронизывает витки вторичной. В трансформаторе с такой стопроцентной магнитной связью напряжение на вторичной обмотке определяется отношением числа витков w_2 в обмотке II к числу витков w_1 в обмотке I (Р-61; 2). Это соотношение называется коэффициентом трансформации n, то есть $n = w_2 : w_1$.

Если во вторичной обмотке II витков больше, чем в первичной I, то есть если w_2 больше, чем w_1, то коэффициент трансформации больше единицы и трансформатор называют повышающим. А если w_2 меньше, чем w_1, то n меньше единицы и трансформатор называют понижающим. Эти названия вполне объяснимы. Мы знаем, что напряжение, которое наводится на катушке, тем больше, чем больше ее индуктивность. А индуктивность катушки, в свою очередь, пропорциональна числу витков. Поэтому напряжение, наведенное на вторичной обмотке, будет тем больше, чем больше w_2. В трансформаторе со стопроцентной магнитной связью при одинаковом числе витков в обмотках I и II, то есть при коэффициенте трансформации $n = 1$, напряжение U_2 равно напряжению U_1. А если w_2 больше, чем w_1, то и U_2 больше, чем U_1. Причем больше именно в n раз. Таким образом, повышающий трансформатор повышает напряжение в n раз, понижающий понижает напряжение в n раз.

С-10. ФЕРРИТЫ

Они относятся к числу магнитодиэлектриков, материалов, которые имеют сравнительно высокую магнитную проницаемость (подобно стали) и в то же время не проводят электрический ток (в отличие от стали), являются диэлектриками. Основа магнитодиэлектриков — спрессованные мельчайшие крупинки ферромагнитных веществ, изолированные друг от друга. В зависимости от состава крупинок, их размеров и структуры феррита он либо имеет довольно высокую магнитную проницаемость , но при этом может работать лишь на сравнительно низких частотах (имеется в виду «работа» в качестве сердечника трансформатора или катушки), либо, наоборот, может работать на сравнительно высоких частотах, но имеет меньшее . Магнитная проницаемость входит в название марки феррита. Так, например, у марки 600 НН (старое название Ф-600) проницаемость =600. Граничные частоты F для некоторых марок феррита приводятся ниже, это частоты, превышение которых приведет к резкому увеличению потерь в сердечнике.

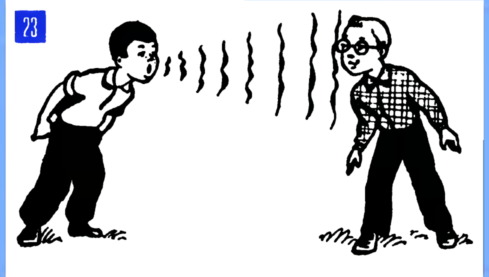
Феррит марки 4000НМ — граничная частота 150 кГц; 3000НМ — 200 кГц; 2000НМ — 450 кГц; 1500НМ — 650 кГц; 1000НМ — 750 кГц; 2000НН — 400 кГц; 600НН — 1,2 МГц; 400НН — 1,5 МГц; 200НН — 3,5 МГц; 200НН1 — 2,2 МГц; 100НН, 100НН1, 150НН — 4 МГц; 5В4, 10В4, 13В4, 20В4, 30В4, 50В4, 60В4 — граничная частота десятки мегагерц.

Теперь о токах. Когда во вторичную обмотку включена нагрузка, то в этой обмотке идет ток I_2. Конечно же, вторичная обмотка сама никакой мощности не дает, а получает ее из первичной. В идеальном случае мощность P_2, потребляемая во вторичной цепи, равна мощности P_1, поступающей от генератора в первичную цепь (реально какая-то мощность теряется в самом трансформаторе, и нагрузке достается несколько меньшая мощность, чем дает генератор). Из условия равенства мощностей $P_1 = P_2$ можно найти соотношение токов I_1 и I_2 в обмотках I и II, оно также определяется коэффициентом трансформации n, но только он действует «в обратную сторону»: во сколько раз трансформатор повышает напряжение, во столько же раз он понижает ток (Р-61; 5) — только при этом условии мощности в обеих обмотках могут быть одинаковыми.

Важная особенность трансформатора — напряжение U_2 на вторичной обмотке определяется самим устройством трансформатора, его коэффициентом трансформации. А вот что касается токов I_2 и I_1, то они зависят еще и от сопротивления нагрузки: чем меньше $R_н$, тем больше ток I_2 (а вместе с ним P_2) и соответственно больше ток I_1 (а вместе с ним P_1).

Знакомство с трансформатором завершает путешествие по территориям Основ Электротехники. Мы поднимаемся выше, на следующие этажи, с которых уже недалеко до действующих электронных приборов и аппаратов.





ГЛАВА 7

СЫРЬЕ И ПРОДУКЦИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ



Т-88 **Т-88. Информация играет исключительно важную роль в природных процессах, в работе машин.** В энциклопедическом словаре, изданном еще сравнительно недавно, слово «информация» объясняется так: «Информация — сообщение, осведомление о чем-либо, например информация через печать, радио, документальное кино и т. п.». У нынешнего специалиста в области вычислительной техники, языкознания, космической связи или физиологии подобное определение, скорее всего, вызовет улыбку: оно затрагивает лишь небольшую часть того, что сейчас принято называть информацией.

Информация — очень широкое понятие. И очень глубокое. Она признана одной из самых важных, самых универсальных характеристик огромного множества объектов и процессов. Появились даже самостоятельные области знаний — кибернетика и информатика, для которых главный объект исследований — информация, но уже, конечно, в современном, широком смысле этого слова.

Не будем разбираться в нынешних официальных определениях понятия «информация». Для наших практических целей пока достаточно самого общего представления о ней.

Можно было бы сказать, что информация — это некоторые сведения, записанные о каких-либо объектах или процессах.

Информация содержится в структуре молекул, и чем сложней молекула, чем разнообразней ее структура, тем больше в ней информации. Информация содержится в телевизионной картинке, в музыкальном аккорде, в чертеже, рукописи, зубчатом колесе часов, в шестиграннике гайки, в серии радиосигналов, посланных на космический корабль. А вот чистый лист бумаги не несет никакой информации. И постоянный ток — тоже. И в равномерном потоке воздуха ничего не записано. Информация — это всегда какие-то изменения, изменения интенсивности, формы, яркости, частоты, ассортимента, конфигурации.

Соединяясь в сложные агрегаты, молекулы узнают друг друга по той информации, которая содержится в их структуре. Информация, записанная в рельефе берегов реки, ворочает огромными массами воды, заставляет ее поворачивать то влево, то вправо. Возвращаясь из школы, вы открываете дверь квартиры своим ключом только потому, что в сложном узоре данного ключа содержится информация об устройстве данного замка.

Можно привести бессчетное множество примеров, подтверждающих, что информационные процессы, информационные взаимодействия играют исключительную роль в природе, в технике. И в последнее время все отчетливей понимается, что информация относится к числу фундаментальных ха-

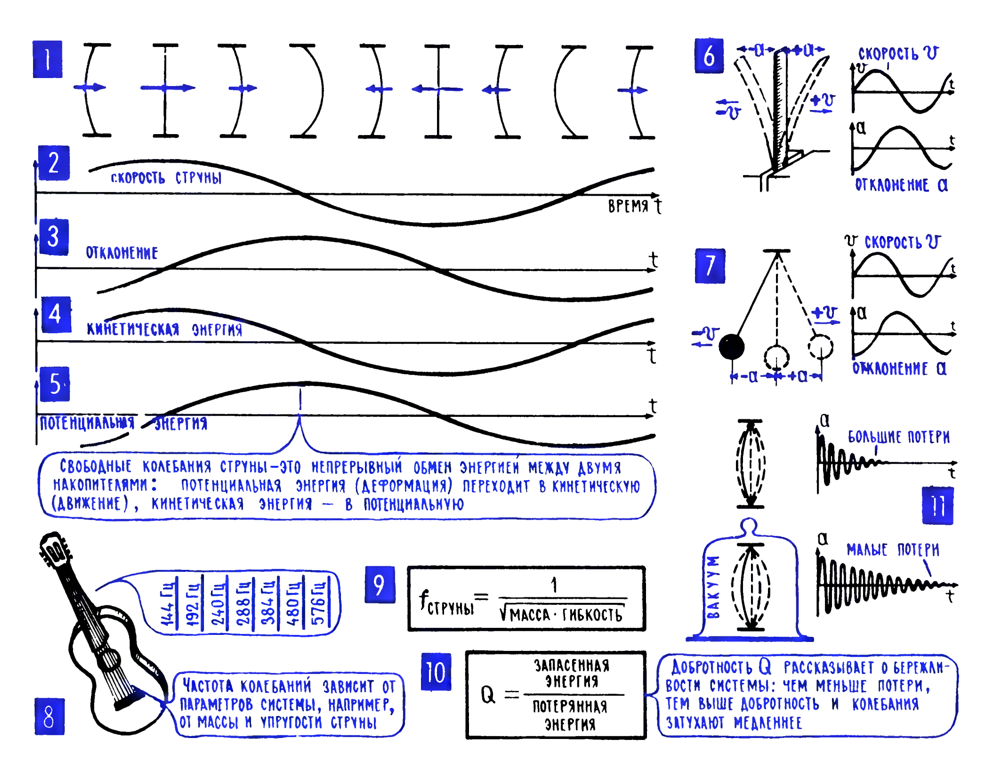
рактеристик нашего мира, к понятиям такой же важности, как, скажем, вещество и энергия.

Т-89. В живых организмах информационные биологические системы осуществляют сбор, переработку и хранение информации. Когда вы нажимаете кнопку электрического звонка, то передаете звонку некоторую информацию, посылаете сообщение: «нужно звонить». Информацию эту переносит переменный ток, который при нажатии кнопки поступает в катушки электромагнита и сам же приводит в движение молоточек звонка. А вот когда оператор посылает на спутник радиосигнал, который должен включить двигатель коррекции, то этому сигналу самому работать не нужно. Он должен только перенести на спутник определенную информацию, передать соответствующую команду, а там уже найдутся другие источники энергии, которые в соответствии с полученной информацией сами включат, что нужно, или выключат. В этом втором примере мы встречаемся со специализированной информационной системой; вся работа таких систем только в том и состоит, чтобы собирать, хранить, передавать или перерабатывать информацию.

Изобретатель первых специализированных информационных систем — живая природа. Уже у простейших микроорганизмов есть молекулярные «приборы», собирающие информацию об окружающей среде, и, в зависимости от химических веществ, действующих на эти «приборы», микроорганизмы либо движутся в сторону пищи, либо бегут из вредной для них среды. А еще у всех представителей живого, от одноклеточной водоросли до кашалота, есть специализированные хранилища информации — сложные молекулы нуклеиновых кислот, на которых языком химических соединений записана подробнейшая информация об устройстве данного вида живых организмов. Только благодаря этим подробным чертежам живые организмы точно воспроизводятся при размножении, и из кошки получается кошка, а не дельфин, не стрекоза и не табуретка.

За миллиарды лет биологической эволюции живые организмы усложнялись и совершенствовались, и при этом усложнялись и совершенствовались их информационные системы. На какой-то стадии у представителей животного мира появился особый информационный орган, точнее, целая система органов — нервная система. Сначала довольно простая, из нескольких нервных клеток, а затем все более сложная, способная выполнять много самых разных задач по сбору, хранению и переработке информации.

Наибольшего совершенства достигла эта система у человека. В нашем организме миллиарды клеток-рецепторов (собирателей информации) измеряют освещенность, давление, температуру, химический состав, собирают сведения о том, что происходит внутри организма и за его пределами. Скажем, о том, в какой степени насыщен кислородом воздух, достаточно ли быстро движется кровь в сосудах, холодно ли на улице или насколько много сахара в чае. Вся эта информация по внутренним линиям связи — нервным волокнам — поступает в мозг, там по необходимости к ней добавляются кое-какие сведения из памяти, и все это вместе как-то перерабатывается, превращается в итоге в команды управления. Некоторые из этих команд, например «увеличить глубину дыхания» или «добавить в кровь адреналин», выполняются автоматически, а некоторые, например «добавить в чай ложку сахара» или «надеть теплую куртку», мы выполним сознательно. Одна из информационных систем человека связана с приемом и обработкой акустической, звуковой информации. Слух помогал нашим далеким предкам ориентироваться в сложном и опасном мире, а с появлением речи способствовал объединению людей, становлению общества. Приме-



Р-62

чательно, что в числе первых достижений радиоэлектроники — помощь нашим природным акустическим линиям связи, увеличение их дальности: диктора, говорящего перед микрофоном в радиостудии, люди слышат за тысячи километров.

Мы начинаем знакомство со звуковыми информационными системами с типичного источника звука — колеблющейся струны.

Т-90 **Т-90. В процессе свободных колебаний струна меняет скорость и направление, движется то туда, то обратно.** Физические, химические, биологические и всякие иные процессы могут протекать по-разному. В одних случаях мы видим нарастание какой-либо величины — нарастает скорость падающего камня, температура поставленного на плиту чайника с водой, вес зреющего на поле арбуза... В других же процессах мы наблюдаем уменьшение чего-либо, убывание — убывает вода в дырявом ведре, напряжение пружины часов, скорость автомобиля, у которого на ровной дороге заглох двигатель... А есть еще и такие процессы, в которых происходит непрерывная смена нарастаний и убываний, процессы, которые без всякого вмешательства извне меняют свое направление, сами по себе идут то туда, то обратно. Это так называемые свободные колебания, примером которых могут служить колебания гитарной струны (Р-62).

Вы слегка оттянули гитарную струну и передали ей некоторую порцию энергии. Мы часто производим подобную передачу энергии, например, когда двигаем по столу книгу, ударяем спичкой по коробке или ногой по футбольному мячу. И всякий раз отданная нами энергия сразу находит своего главного потребителя, расходуется на какое-нибудь полезное дело — на получение тепла, на борьбу с трением или сопротивлением воздуха.

Иначе обстоит дело с оттянутой струной. Здесь мы встречаемся сразу

с несколькими потребителями энергии, причем два из них, взаимодействуя друг с другом, как раз и заставляют струну совершать колебательные движения.

Когда мы оттягиваем стальную струну, отводим ее от условной средней линии (Р-62), то затраченную нами на это энергию сразу же захватывает первый из двух потребителей — упругая деформация стали.

Упругая деформация — явление сложное, оно связано с изменением внутренней структуры вещества, с его упругостью. Когда мы сгибаем, то есть деформируем (меняем форму), стальную пружину или сжимаем, деформируем резиновый мяч, то затрачиваем энергию именно на то, чтобы преодолеть силы внутренней упругости. Но энергия эта не пропадает безвозвратно. Деформированное упругое тело, как только у него появится возможность, вернется в свое первоначальное состояние и почти полностью (обратите внимание на это слово «почти», о нем придется поговорить особо) вернет полученную энергию.

Это хорошо видно на примере часов: когда вы заводите их, то пружина деформируется и запасает определенную энергию, а затем в течение суток почти полностью отдает ее, вращая шестеренки часового механизма. И так же ведет себя оттянутая стальная струна. Она не потребляет, а лишь накапливает энергию и при первой возможности отдает ее.

Отдает, но кому?

Спортсмен, который обычно прыгает в длину на семь-восемь метров, не преодолеет и четырех, если лишить его возможности разбега, заставить прыгать с места. Дело в том, что при разбеге спортсмен создает некоторый запас энергии, который в момент прыжка добавляет к силе своих мускулов. Физика очень точно определяет этот запас — это не что иное, как кинетическая энергия, которой обладает любое движущееся тело, в нашем примере — бегущий человек. Чем больше масса тела и его скорость, тем больше этот запас, больше кинетическая энергия. Это легко поймет тот, кому приходилось, разогнав велосипед, долгое время катиться по инерции. Шоферы хорошо знают, что чем больше скорость автомобиля и чем сильнее он нагружен, тем труднее машину остановить, то есть погасить в тормозах ее кинетическую энергию.

Кинетическая энергия у какого-либо тела, конечно, не появляется сама собой. Ее накапливают с помощью мускулов, сожженного бензина, взорванного пороха — словом, с помощью любых источников энергии, способных толкать, двигать, вращать, способных «создавать скорость».

Теперь можно сказать, кто же этот второй потребитель энергии, участвующий в колебаниях струны. Это движение. Если, оттянув струну, вы отпустите ее на свободу, то силы упругой деформации постараются сразу же вернуть ее в исходное положение, к условной средней линии. При этом струна начнет двигаться и набирать скорость, а значит, увеличивать запасы кинетической энергии. Но и эти запасы струна не хранит у себя, а постепенно отдает их. И опять тот же вопрос — кому?

В поисках ответа мы сейчас прокрутим — разумеется, условно, мысленно — небольшой учебный кинофильм.

...В зале медленно гаснет свет. Звучит музыкальное вступление, и на экране появляются пляшущие буквы. Буквы постепенно вытягиваются в три ровные линии, мы читаем название фильма: «Свободные колебания струны». И тут же слышим голос диктора: «Замечательная техника современного кино позволяет нам увидеть колебания гитарной струны, замедленные в несколько тысяч раз».

На экране струна, натянутая между двумя массивными стойками. Откуда-то со стороны выплывает рука, указательным пальцем цепляет струну и оттягивает в сторону. На том месте, где только что была струна, остается пунктирная линия, и тут же возле нее появляется надпись: «Линия покоя». Снова голос диктора: «Оттянув струну, мы затратили некоторую энергию».

Палец отпускает струну. Она начинает двигаться, сначала медленно, затем все быстрее. Двигаясь, струна в какой-то момент сливается с пунктирной «линией покоя». Голос поясняет: «Под действием сил упругости струна вернулась в положение покоя. Но остановиться здесь она не может: почти вся энергия, которую мы передали струне, оттянув ее, теперь перешла в кинетическую энергию, и, только потеряв ее, струна сможет вновь обрести покой. А пока она продолжает двигаться».

Проскочив пунктирную «линию покоя», струна продолжает двигаться и вновь изгибается, оттягивается, но теперь уже сама. И конечно, изгибается в противоположную сторону. Струна изгибается все сильнее. Скорость ее уменьшается. Голос диктора: «Сейчас струна, истратив свою кинетическую энергию, остановится. Но это лишь кажущийся покой — струна вновь деформирована, и силы упругости снова начинают двигать ее, вновь приближая струну к «линии покоя».

Диктор сказал правду: мы действительно видим, как струна движется к пунктирной линии, вновь сливается с ней на какое-то неуловимое мгновение и, проскочив эту линию, продолжает двигаться... Вот она уже почти на том же месте, куда когда-то оттянул ее палец... Неуловимая остановка, и, изменив направление на обратное, снова в путь, снова к «линии покоя»...

Однако не будем утомлять себя этим однообразным зрелищем. Покинем на время кинозал и попробуем устроить небольшое обсуждение фильма.

Т-91

Т-91. Свободные колебания — чрезвычайно широкий класс процессов, в которых происходит обмен энергией между двумя ее накопителями. Мы видели, что струна сама по себе двигалась то туда, то обратно, то есть совершала свободные колебания. Струна двигалась относительно некоторого устойчивого состояния, относительно «линии покоя». В процессе колебаний по синусоиде менялась скорость струны, по синусоиде менялось ее отклонение от средней линии. Первопричина всего этого — обмен энергией между двумя накопителями, между силами упругости и движением. Оба накопителя энергии существуют в натянутой струне не каждый сам по себе, они взаимосвязаны — упругая деформация стремится двинуть струну, создать у нее запас кинетической энергии, а кинетическая энергия стремится изогнуть струну, запасти в ней энергию в виде упругой деформации. Поэтому, как только мы передали струне порцию энергии, накопители сразу же начали перебрасывать ее друг другу. Начались свободные колебания.

Все эти особенности характерны и для любых других видов свободных колебаний (Р-62; 6, 7). В колебаниях зажатой в тиски линейки участвуют уже знакомые нам накопители — упругость и движение, в колебаниях маятника или качелей один из накопителей тот же — движение, а вместо упругой деформации работает поднятие маятника (качелей) на некоторую высоту: чем выше поднято тело, тем больше энергии оно запасает и затем может отдать ее, двигаясь вниз.

Свободные колебания — вид движений, очень распространенный и в природе, и в технике. Можно наблюдать химические колебания, когда «туда-обратно» меняются концентрации определенных веществ. Очень скоро мы увидим, как протекают электромагнитные колебания — обмен энергией между конденсатором и катушкой. Даже в поведении человека нередки

колебания, когда есть два накопителя, два решения, между которыми приходится выбирать.

Есть у всех и всяких систем, в которых происходят свободные колебания, еще одна общая черта — частота колебаний *f* зависит от параметров накопителей энергии.

Т-92. Чем медленнее накопители принимают и отдают энергию, тем ниже частота собственных колебаний. Для свободных колебаний понятие «частота» имеет тот же смысл, что и для переменного тока (Т-68) — время полного цикла свободных колебаний называется *периодом*, а число периодов в секунду — *частотой*. И единицы измерений те же: для периода — *секунды (сек)*, для частоты — *герцы (Гц)*. Каким будет период свободных колебаний, какой будет частота, зависит от того, насколько быстро обмениваются энергией ее накопители. Так, например, чем больше масса струны, тем медленнее она набирает скорость и медленнее останавливается, двигаясь по инерции. И поэтому с увеличением массы струны частота *f* свободных колебаний уменьшается. Вот почему более толстые, более массивные струны колеблются медленнее, чем тонкие (Р-62; 8). Т-92

Частота колебаний струны зависит также от ее гибкости: чем меньше натянута струна, тем более вяло протекает и поэтому дольше тянется процесс ее деформации и тем медленнее деформированная струна возвращается в исходное состояние. Поэтому с уменьшением силы натяжения струны, то есть с ростом ее гибкости, податливости, частота собственных колебаний уменьшается. Сущность этих зависимостей всегда одна и та же — частота свободных колебаний зависит только от параметров колеблющейся системы (часто говорят, колебательной системы) и, меняя эти параметры, можно менять частоту собственных колебаний.

А теперь вернемся на несколько минут в наш кинозал, где колеблющаяся на экране гитарная струна поможет сделать еще один важный общий вывод.

Т-93. Чем меньше потери энергии в колебательной системе, тем выше ее добротность, тем дольше продолжаются свободные колебания. Мы возвращаемся в кинозал и, как и следовало ожидать, видим на экране знакомые кадры: струна по-прежнему движется туда-обратно и знакомый голос произносит все те же фразы: Т-93

«...струну заставляет двигаться энергия упругой деформации...»

«...она уже не может остановиться...»

«...кинетическая энергия израсходована на то, чтобы вновь деформировать струну...»

И все-таки что-то изменилось в движениях струны. Теперь она чуть медленнее проходит мимо «линии покоя» и отклоняется от этой линии чуть меньше, чем в самом начале. Еще несколько минут наблюдений — и уверенный вывод: колебания постепенно затухают. Ну что ж, это естественно, струна не может колебаться вечно. Причину затухания колебаний тоже можно понять — это потери энергии. Каждый раз при перекачивании энергии из одного накопителя в другой часть ее теряется на то, чтобы преодолеть трение воздуха, преодолеть внутреннее трение в самой струне. В итоге запасы энергии, которые когда-то струна получила, постепенно иссякают, энергия превращается в тепло, которое, как в бездонную бочку, уходит в просторы воздушного океана.

Чтобы оценить, насколько же бережно струна расходует свои запасы энергии, вводится специальная характеристика — *добротность* Q. Чем больше энергии струна запасает по сравнению с тем, что она теряет при каждом

перекачивании, тем выше добротность, тем, следовательно, медленнее затухают и дольше длятся свободные колебания (Р-62; 10, 11).

Среди нескольких видов потерь энергии у струны есть, если можно так сказать, полезные потери. Во всяком случае, эти потери, точнее говоря, затраты энергии, просто необходимы настоящей гитарной струне, которая должна создавать звук.

Т-94 **Т-94. В процессе колебаний струна излучает звуковые волны.** Вы тронули гитарную струну, она пришла в движение, увлекла за собой окружающий воздух и во все стороны от струны пошли звуковые волны. Их рождение в самом упрощенном виде можно представить себе так. Двигаясь вперед, струна сжимает впереди себя воздух, создает повышенное давление. Разумеется, область с повышенным давлением не может оставаться изолированной, давление передается соседним участкам, и от струны катится вал сжатого воздуха (Р-63).

Через какое-то время струна пойдет обратно, начнет возвращаться к «линии покоя», и в том месте, где она только что сжимала воздух, появится область разрежения, область несколько пониженного давления. Область

К-5 К-5. НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ И САМОДЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ

1, 2, 3, 4. Электрические соединения в электронных схемах осуществляют пайкой, чаще всего с помощью электропаяльника небольшой мощности. Прежде всего нужно тщательно залудить (покрыть тонким слоем припоя) его «жало», следить за тем, чтобы оно не покрывалось окалиной, не чернело. А для этого нужно, чтобы паяльник не перегревался. Прежде чем припаивать какой-либо вывод, его нужно залудить, предварительно очистив и покрыв расплавленной канифолью — она очищает от окислов поверхность соединяемых деталей; без канифоли надежная пайка невозможна. Любители стараются, чтобы пайка была красивой, чтобы припой охватил соединяемые провода «слезкой» — за этой красотой стоит еще и прочность, надежность пайки. Нагревая в процессе пайки выводы полупроводниковых приборов, их обязательно нужно придерживать пинцетом (4) — он в данном случае играет роль теплоотвода и предохраняет от перегрева сам полупроводниковый кристалл.

5. Если нет намоточного станка, то для намотки трансформатора можно использовать дрель, насадив каркас на деревянный брусок. Обмотку, на концах которой не будет значительного напряжения, укладывают «внавал». Если же на обмотке будет действовать сравнительно большое напряжение (сетевая или повышающая обмотка силового трансформатора), то провод укладывают тонкими слоями, изолируя бумагой один слой от другого. В противном случае крайние витки обмотки могут «сползти» и оказаться рядом, напряжение пробьет их изоляцию и произойдет междувитковое замыкание (Т-87, Т-282).

6, 7. Существует много разновидностей самодельных переключателей, в данном случае в качестве пружинящих контактов используются лезвия от безопасной бритвы, тщательно очищенные от жира или лаковых покрытий (лучше использовать сравнительно толстые старые лезвия, вообще без покрытий). В зависимости от необходимой схемы переключений лезвия собирают в пакеты и склеивают с картонными прокладками каким-либо универсальным клеем. Предварительно залудив край лезвия, к нему подпаивают провода-выводы.

8. Пружинящий контакт из лезвия можно использовать в простейшем самодельном реле; здесь сам центральный болт служит одним из контактов, который замыкается с лезвием при срабатывании реле. Регулируя начальное положение лезвия, главным образом расстояние от него до болта, можно добиться того, что реле будет срабатывать при токе 0,1—0,2 *А*. Такой ток пойдет по обмотке (провод ПЭ 0,25—0,35, намотка — до заполнения каркаса, в качестве которого используется катушка от ниток) при напряжении 0,2—0,6 *В*. Реле может замыкать цепи с небольшим напряжением, например включать школьный моторчик или лампочку в системах телеуправления (К-19, К-20). Взяв более тонкий провод, можно получить срабатывание при меньшем токе, но при большем напряжении.

9, 10, 11, 12. Переход от принципиальной схемы (9) к монтажной (10) на первых порах связан с определенными трудностями, и полезно на принципиальной схеме и на монтаже пронумеровать точки соединения проводов. Для монтажа часто используется гетинаксовая плата с монтажными лепестками (10) или печатная плата (12).

13, 18, 19. Изготовить монтажную плату можно из гетинакса или из фанеры. Фанерную панель нужных размеров легко отрезать ножом или пилой, а для резки гетинакса лучше всего



из ножовочного полотна изготовить резак (13). Круглые отверстия в металле, гетинаксе, картоне удобно выбивать пробойником из стальной трубки (18). В фанерной панели очень просто закрепить лепестки и гнезда из жести (19). На фанерной монтажной панели удобно макетировать (то есть проверять и отрабатывать) практически все схемы, приведенные в книге.

14, 15, 16, 17. Печатную плату. (Р-179) можно изготовить самому из фольгированного гетинакса. На него наносится предварительно разработанный рисунок соединительных цепей («разводка»), затем его покрывают масляной краской (15), и плату погружают в раствор хлорного железа (16). Медная фольга с незакрашенных участков растворяется, и остаются только участки фольги, закрытые краской. В дальнейшем краску смывают, сверлят отверстия для установки деталей (17), и плата готова.

пониженного давления также не остается изолированной, и вслед за валом сжатия в пространство уходит вал разрежения. А поскольку струна совершает колебания, непрерывно меняет свое направление, движется туда-обратно, то волны сжатия и разрежения будут уходить от струны одна за другой. Такие волны сжатия и разрежения в воздухе или в другой среде — это как раз и есть звук.

Т-95

Т-95. Основные характеристики звука: период, частота, скорость, звуковое давление, сила звука. Попробуем поставить на пути звуковой волны измеритель давления — манометр. Причем отрегулируем его так, чтобы прибор показывал только изменение давления по сравнению с атмосферным. Это значит, что при нормальном атмосферном давлении манометр будет показывать нуль, при некотором сжатии воздуха стрелка прибора пойдет вправо, при разрежении — влево (Р-63; 1). А под действием звуковой волны стрелка будет все время отклоняться от нуля то влево, то вправо. Если бы мы успевали следить за всеми движениями стрелки и построили бы график звукового давления, то он оказался бы точной копией графика свободных колебаний струны. А разве могло быть иначе? Звуковая волна рождена колеблющейся струной, поэтому изменение давления в любой точке, куда приходит звук, в точности повторяет все действия струны по сжатию и разрежению воздуха.

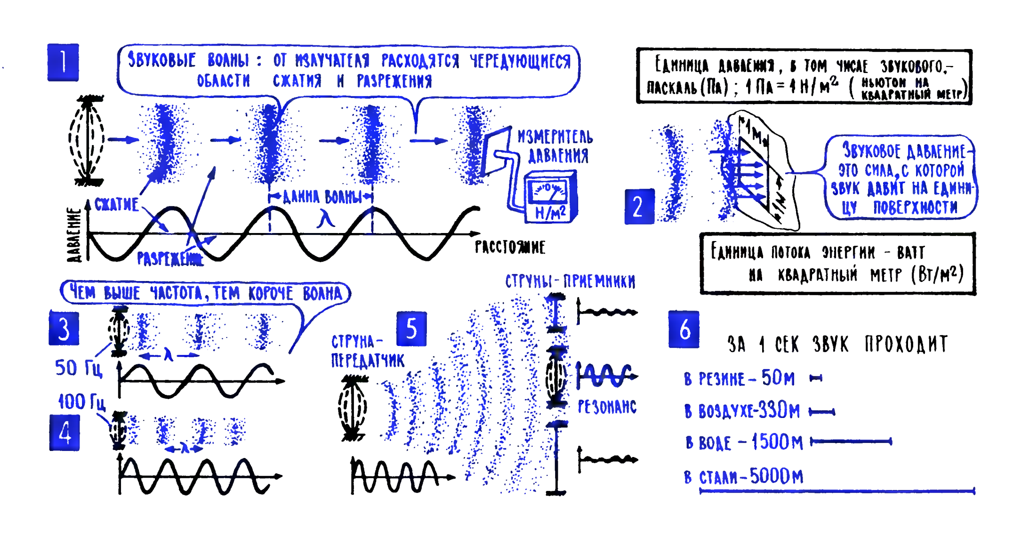
Это позволяет прежде всего ввести такую характеристику звука, как *частота* — число полных циклов (периодов) изменения звукового давления в единицу времени.

Частота звука, естественно, равна частоте свободных колебаний создавшей его струны. Если струна каждую секунду посылает в пространство 10 «сгустков» сжатия, то через любую точку пространства каждую секунду пройдет именно 10 таких «сгустков».

Другая характеристика звука — скорость распространения — не требует, по-видимому, особых пояснений. Нужно лишь отметить, что в воздухе скорость звука при 0 °С — около 330 *м/сек,* что с повышением температуры она несколько повышается и что в других средах скорость звука может быть во много раз больше или меньше, чем в воздухе (Р-63; 6).

Зная скорость звука и его частоту, можно найти еще одну характеристику — *длину звуковой волны.* Длина волны — это то расстояние, которое

Р-63



волна успевает пройти за время одного полного периода колебаний. Так, например, при частоте 1 *Гц*, то есть при периоде 1 *сек*, длина волны составит в воздухе 330 *м*, в воде — около полутора километров, в стали — 5 километров, в резине — всего 50 метров. С увеличением частоты длина волны, конечно, уменьшается: чем меньше длится период, тем меньше расстояние успеет пройти волна (Р-63; 3, 4).

Звуковые волны иногда сравнивают с волнами на поверхности воды — гребень морской волны чем-то похож на область сжатого воздуха, впадина — на область разрежения. Когда говорят о длине морской волны, то обычно имеют в виду расстояние между двумя ее соседними гребнями, и по аналогии можно сказать, что длина звуковой волны — расстояние между двумя соседними точками наибольшего сжатия. У этого определения нет никакого противоречия с предыдущим — чем выше частота звука, тем чаще одна за другой следуют области сжатия и тем, естественно, меньше расстояние между двумя такими соседними областями.

Работоспособность звуковой волны, ее энергетические запасы принято характеризовать двумя показателями: ***звуковым давлением*** и ***силой звука***. Звуковое давление, так же, скажем, как и переменная э.д.с., непрерывно меняется, и поэтому следовало бы говорить о его амплитуде, мгновенном и эффективном значениях. Этой последней характеристикой пользуются чаще всего, и если нет никаких оговорок, то нужно считать, что речь идет об эффективном звуковом давлении, которое составляет 70% от амплитуды. Единица давления получается, как единица силы (веса), отнесенная к единице площади, в системе СИ — это паскаль (*Па*), соответствующий одному ньютону на квадратный метр ($Н/м^2$). Оценить реальное значение этой единицы позволит такое сравнение: если на стандартный лист фанеры (площадь около 2 $м^2$) вылить стакан воды (масса — около 200 *г*, вес — примерно 2 *Н*), то, равномерно распределившись по листу слоем толщиной примерно 0,05 *мм*, вода создаст давление как раз 1 $Па = 1\ Н/м^2$. Как видите, 1 паскаль (1 *Па*) в наших житейских масштабах — очень небольшая величина, это всего лишь давление слоя воды более тонкого, чем лист бумаги. В то же время звуковое давление 1 *Па* создает ощущение невыносимо громкого звука (С-11). Единицей звукового давления *Па* стали пользоваться сравнительно недавно, и в литературе недалекого прошлого можно еще встретить другую единицу — *бар*. Она в десять раз меньше, чем $Н/м^2$, то есть 1 $бар = 0{,}1\ Па = 0{,}1\ Н/м^2$ или 1 $Па = 1\ Н/м^2 = 10\ бар$.

Другая характеристика работоспособности — сила звука — указывает ту мощность, которую проносит звуковая волна через единичную поверхность, и поэтому измеряется в ваттах на квадратный метр, $Вт/м^2$. Справочная таблица С-11 иллюстрирует обе единицы $Н/м^2$ и $Вт/м^2$, оценивая с их помощью некоторые реальные источники звуковых волн. Обратите внимание, что звуковое давление и сила звука связаны квадратичной зависимостью (Т-32): увеличьте давление в десять раз, и сила звука возрастет в сто раз. Точно такой же зависимостью связаны напряжение и мощность или ток и мощность в электрической цепи (Т-41).

И еще обратите внимание на третью колонку таблицы С-11, в которой приведены уже знакомые нам децибелы (Т-82).

Т-96. Звуковое давление и силу звука часто измеряют в децибелах. Звуки, создающие давление меньше, чем 0,00002 $Н/м^2$, мы просто не слышим. Такое звуковое давление и соответствующую ему силу звука $10^{-12}\ Вт/м^2$ называют *порогом слышимости*. Естественно, что все остальные слышимые звуки во сколько-то раз выше порога слышимости, и, чтобы оценить это «во сколько-то

раз», можно пользоваться децибелами (*дБ*). Специалисты по акустике иногда вообще забывают о единицах звукового давления и силы звука и оценивают эти величины сразу в децибелах, начиная отсчет от порога слышимости. Так и говорят: «Сила звука — 90 децибел...» (вместо 0,001 $Вт/м^2$) или: «Звуковое давление 60 децибел...» (вместо 0,02 $Па = 0{,}02\ Н/м^2$). Пользоваться децибелами особенно удобно, когда приходится оценивать усиление или ослабление звука. Скажем, известно, что вблизи струны сила звука 60 *дБ* и что по мере продвижения вперед она уменьшается на 0,1 *дБ* на каждом метре пути. Сразу же можно подсчитать, что на расстоянии 500 *м* от струны сила звука уменьшится на 50 *дБ* и составит уже всего 10 *дБ*, что близко к громкости звучания шепота на расстоянии одного метра (С-11).

Т-97 **Т-97. Струна-излучатель и струна-приемник образуют простейшую линию звуковой связи.** Двигаясь в пространстве, звуковая волна натыкается на

С-11 С-11. ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН СЛЫШИМЫХ ЗВУКОВ

В первой колонке таблицы приведено несколько конкретных значений звукового давления (в ньютонах на квадратный метр), характеризующих интенсивность звука, а во второй колонке — соответствующая тому или иному звуковому давлению сила звука (в ваттах на квадратный метр). В третьей колонке указано (в децибелах), на сколько то или иное звуковое давление (сила звука) выше, чем порог слышимости, который можно принять за нулевой уровень звука. В последней колонке приведены примеры реальных звуков, соответствующих тому или иному звуковому давлению.

Сила звука $Вт/м^2$	Звуковое давление $Н/м^2$ (*Па*)	*дБ*	Примеры
10^{-12}	$2 \cdot 10^{-5}$	0	Порог слышимости
10^{-11}	$6{,}5 \cdot 10^{-5}$	10	Шепот на расстоянии 1 *м*
10^{-10}	$2 \cdot 10^{-4}$	20	Тихий сад.
10^{-9}	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$	30	Тихая комната. Игра скрипки пианиссимо.
10^{-8}	$2 \cdot 10^{-3}$	40	Негромкая музыка. Город ночью.
10^{-7}	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$	50	Шум в служебном помещении с открытыми окнами.
10^{-6}	0,02	60	Разговорная речь на расстоянии 1 *м*.
10^{-5}	0,065	70	Шум внутри трамвая.
10^{-4}	0,2	80	Шумная улица.
10^{-3}	0,65	90	Фортиссимо большого оркестра.
0,01	2	100	Клепальная машина.
0,1	6,5	110	Паровой молот.
1	20	120	Реактивный двигатель на расстоянии 5 *м*.
10	65	130	Болевой порог, звук уже не слышен.

разные предметы, частично отражается от них, а частично отдает им свою энергию. Давайте для определенности предположим, что звуковая волна наткнулась на какую-нибудь струну. Сначала область повышенного давления волны двинет струну вперед, затем область пониженного давления потянет ее назад, затем опять повышенное давление, опять вперед, и снова пониженное давление, снова назад... Одним словом, звуковая волна, отдавая такой струне-приемнику часть своей энергии, заставит ее совершать колебания (Р-63; 5). С какой частотой? Конечно, с частотой самого звука, то есть с частотой струны-передатчика. Потому что именно струна-передатчик определяет, насколько часто сменяют друг друга сжатия и разрежения в звуковой волне, насколько часто эта волна будет двигать вперед-назад нашу струну-приемник. И ее колебания, в отличие от собственных, свободных колебаний, называют вынужденными — струна-приемник вынуждена двигаться именно с той частотой, которую навязывает ей звуковая волна.

Т-98. Используя в струне-приемнике явление резонанса, можно резко повысить ее чувствительность. Слово «резонанс» в популярных книгах иллюстрируют очень старинным и не очень веселым примером. Шла рота солдат по мосту, шла в ногу, четко отбивая шаг. И вдруг мост рухнул. Рухнул именно из-за этого вышагивания в ногу. Дело в том, что мост, подобно гитарной струне, совершает колебания, причем с очень малой амплитудой и очень небольшой частотой. Разрушение моста оказалось результатом трагического совпадения — частота вышагивания роты совпала с частотой собственных колебаний моста. Солдаты раскачивали мост в такт с его собственными колебаниями, подобно тому, как мы в такт подталкиваем качели, желая раскачать их как можно сильнее. Вот это самое подталкивание в такт, раскачивание с частотой, равной частоте собственных колебаний, как раз и называют резонансом. Т-98

Можно настроить струну-приемник в резонанс с частотой звука, и в этом случае амплитуда колебаний струны резко увеличится. Первая же порция звуковой энергии заставит струну совершать свободные колебания, и все остальные действия звуковой волны будут поддерживать эти собственные колебания. Теперь достаточно будет даже очень слабого звука, чтобы сильно раскачать струну (Р-63; 5).

Чувствительность струны-приемника, ее способность приходить в движение под действием слабых звуков зависит от уже знакомой нам характеристики — добротности. Чем больше добротность, то есть чем меньше собственные, внутренние потери энергии в струне, тем более слабый звук сумеет раскачать ее, тем, следовательно, лучше струна будет выполнять свои функции приемника звуковых волн.

Т-99. У реальных звуковых сигналов звуковое давление меняется сложным образом, и именно формой графика одни сигналы отличаются от других. До сих пор график звукового давления мы рисовали в виде синусоиды, что было некоторым искажением истины. График колебаний реальной струны, а значит, график излучаемого ею звука, похож на синусоиду, однако все же отличается от нее. А графики реальных природных звуков, в частности звучание музыкальных инструментов и человеческого голоса, всегда имеют очень сложную форму. Именно в этой сложности изменений звукового давления, а значит, в форме графика, записана информация, которую переносит звук. Только характером изменения, формой кривой графика — чаще всего для краткости говорят «форма кривой» — отличается звук «а» от звука «о», только характер изменения, форма кривой отличает звуки одинаковой частоты (одна и та же нота), взятые на разных музыкальных инструментах. Т-99

Придется признать, что, путешествуя по зоопарку, мы не заметили слона: изучая звук, не научились оценивать форму кривой, самую важную его характеристику. Но как только мы захотим исправить эту ошибку, то сразу же столкнемся с непреодолимыми, казалось бы, трудностями. Действительно, как можно точно оценить форму кривой графика? В каких единицах ее измерять? Как сравнивать и различать разные по форме кривые, отмечать их сходство или различие?

Т-100

Т-100. Спектр сигнала — эквивалентный ему набор синусоидальных составляющих. Для начала попробуем решить подобную задачу из другой области. Предположим, что нам нужно, пользуясь картой, измерить площадь Черного моря (Р-64; 1). Проще всего, наверное, это можно сделать так: заполнить очертания моря квадратами, подсчитать площадь каждого из них, а затем все полученные результаты сложить. На карте разместятся два-три больших квадрата, несколько квадратов поменьше и, наконец, множество мелких и мельчайших квадратиков, которые точно воспроизведут сложные очертания морских берегов. С помощью набора стандартных составляющих — квадратов — можно измерить площадь любой геометрической фигуры, имеющей сложные очертания.

Подобным же образом, чтобы оценить характер изменения, то есть форму кривой графика, какого-либо сложного звука, можно представить этот звук как сумму некоторых стандартных составляющих — звуков с разными амплитудами, частотами и фазами, но с одинаковой стандартной формой кривой. Чтобы дать точное описание любого сложного звука, достаточно будет назвать набор стандартных составляющих, которые в сумме дадут данный сложный звук.

То, что сложную геометрическую фигуру можно сложить из более простых фигур, в частности квадратов, ясно и без особых рассуждений. А вот можно ли подобную операцию суммирования производить со звуковыми волнами? Можно ли считать, что сложный звук состоит из определенного набора простых?

Оказывается, можно.

Если в точку, где расположен измеритель звукового давления, направить две звуковые волны, то прибор не будет в отдельности реагировать на каждую из них, а покажет суммарное давление. Потому что в какой-либо точке пространства звук не помнит, какие силы его создавали и сколько было этих сил. Важен лишь конечный результат, важна сумма сил, подобно тому, как для покупателя важен суммарный вес гирь, которые стоят на чаше весов.

В качестве стандартной составляющей для измерения площади сложных геометрических фигур мы выбрали квадрат, потому что очень просто определить его площадь. В качестве стандартной составляющей для описания сложного звука выбрана синусоида. Причин несколько, вот две из них, достаточно веские.

В начале прошлого века французский математик Жан Батист Жозеф Фурье нашел способ вычислять набор синусоидальных составляющих — именно синусоидальных! — сумма которых может дать сложный звук определенной формы. Такой набор составляющих получил название *спектр*. Если известно математическое описание сложного звука, то по формулам Фурье можно найти его спектр — найти частоты, амплитуды и фазы стандартных синусоидальных звуков, которые, сложившись, воспроизведут сложный звук во всей его сложности и неповторимости (Р-64; 3).

Разработанные Фурье удобные математические приемы определения спектра — это есть первое «за» в части выбора синусоиды на роль стандарт-

ной составляющей сложных звуков. А вот и второе «за» — существуют устройства, которые могут уже не на бумаге, не с помощью математических формул, а реально, в натуре разделить сложный звук на сумму синусоидальных составляющих и выделить любую из них из сложного звука. Одно из таких устройств — наше ухо.

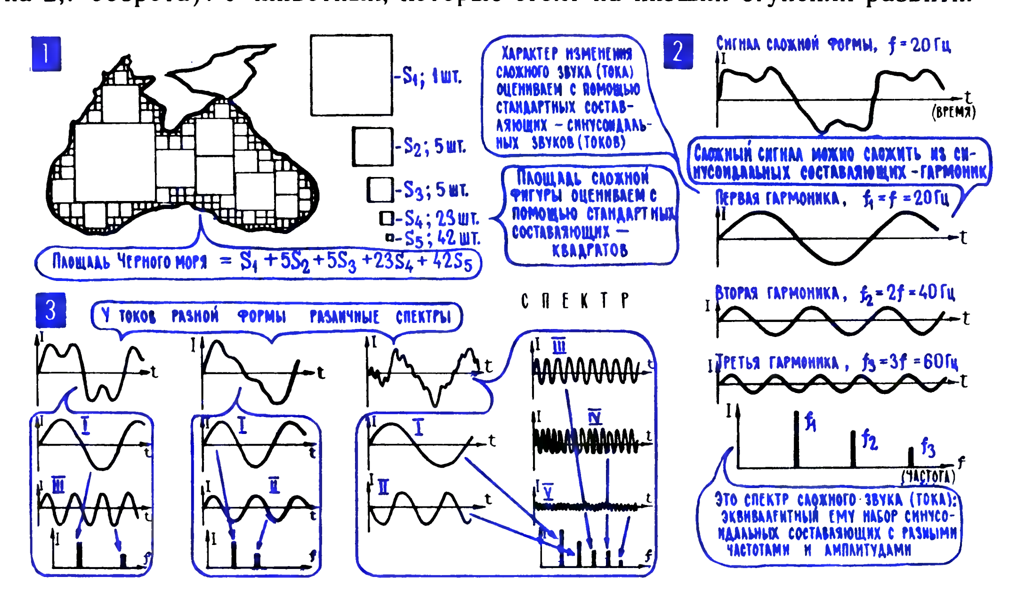
Кстати, Фурье установил, что если сложный звук периодически повторяется, то его спектр состоит из синусоидальных составляющих с кратными частотами. Музыканты называют эти составляющие *обертонами*, радисты — *гармониками,* имея в виду второе имя синусоиды — «гармоническая зависимость». Так, например, если частота сложного звука $f = 30$ *Гц*, то в спектр войдут составляющие с частотами $f = 30$ *Гц* (первая гармоника), $2f = 60$ *Гц* (вторая гармоника), $3f = 90$ *Гц* (третья гармоника), $4f = 120$ *Гц* (четвертая гармоника) и т. д. Амплитуды гармоник могут быть самые разные, это-то как раз и зависит от формы кривой сложного звука (Р-64; 3).

Т-101

Т-101. Орган слуха — высокочувствительный приемник и анализатор сложных звуковых сигналов. Наземная станция метро — это лишь небольшая часть того, что мы называем словом «метро», главные же его сооружения — прекрасные дворцы-станции, бесконечные туннели, эскалаторы, поезда, системы электроснабжения и связи — все это скрыто под землей. Вот так и то, что мы привыкли называть ухом, это не более чем своего рода наземная станция метро. Главные же части нашего звукоприемника — среднее и внутреннее ухо — нам не видны, они спрятаны глубоко и защищены костями черепа (Р-65).

Попав в ушную раковину, звуковые волны пробегают извилистый слуховой проход (его длина около 2,5 *см*) и, попав на барабанную перепонку, приводят ее в движение (так же, как звук заставлял двигаться струну-приемник; Р-63). Движение барабанной перепонки через систему косточек (молоточек, наковальня, стремечко, общий вес около 0,05 *г*) передается в самый главный отдел внутреннего уха — в улитку. Такое название эта «деталь» получила потому, что у млекопитающих она похожа на спиралевидный домик улитки (постепенно сужающаяся трубка длиной около 3 *см*, закрученная на 2,7 оборота). У животных, которые стоят на низших ступенях развития

Р-64



улитки еще нет, ее место занимает более простая «деталь», похожая на изогнутую луковицу.

Улитка — это конечная станция, куда поступают механические колебания от слуховых косточек. Здесь, в улитке, эти колебания преобразуются в серии нервных импульсов, которые по нервным волокнам поступают в слуховой нерв, а по нему уже прямо в слуховые отделы головного мозга. «Деталь» внутреннего уха, где происходят эти преобразования, по имени одного из первых ее исследователей А. Корти, получила название орган Корти или кортиев орган.

Кортиев орган находится в спиральном лабиринте улитки и чем-то напоминает спиралевидный и плоский слоеный пирог. Нижний слой, основание «пирога»,— лента основной мембраны, сотканная из двадцати пяти тысяч тонких поперечных нитей, которые часто сравнивают со струнами рояля или арфы. По мере того как основная мембрана расширяется, нити-струны становятся длиннее: у основания улитки, в районе овального окна, к которому примыкает стремечко, длина нитей — около 0,1 *мм*, а у вершины улитки — около 0,5 *мм*.

Изучение органов слуха началось давно, но и сегодня в этой области очень много неясного. Так, в частности, пока не удалось проследить все стадии преобразования звуковых колебаний в нервный импульс. Не очень ясно, каким именно образом кортиев орган анализирует форму кривой сложного звука, хотя установлено, что именно он разделяет сложный звуковой сигнал на синусоидальные составляющие.

Долгое время широким признанием пользовалась резонансная теория слуха, которую около ста лет назад разработал блестящий физик и физиолог Герман Гельмгольц. Основную идею этой теории можно проиллюстрировать простым опытом. Откройте крышку рояля, нажмите правую педаль и с большими паузами пропойте над струнами несколько нот. Вы услышите, как рояль вторит пению, причем после разных нот звучат разные струны. Происходит это потому, что каждая струна резонирует в основном лишь на одной синусоидальной составляющей сложного звука. И поэтому для разных звуков, то есть для разных спектров, набор откликающихся струн будет различным.

Гельмгольц считал, что наше ухо определяет спектр сложных звуков таким же способом, а роль резонирующих струн он отводил нитям основной мембраны: они имеют разную длину, а значит, разные резонансные частоты (Т-92). Эксперименты, казалось бы, полностью подтверждали это предположение. Так, например, было установлено, что при повреждении вершины улитки, где находятся более длинные, то есть более низкочастотные, волокна, подопытные животные перестают слышать только низкочастотные звуки. А повреждение основания улитки приводит к потере слуха в области высших частот. В пользу резонансной теории говорили и некоторые другие эксперименты.

И все же под давлением фактов, особенно полученных в последнее время, от простой и удобной модели уха-рояля пришлось отказаться. Вот лишь одно из непреодолимых затруднений резонансной теории: для того чтобы перекрыть весь диапазон слышимых частот, натяжение самых длинных и самых коротких нитей основной мембраны должно различаться в десять тысяч раз, а на практике такой огромной разницы не обнаружено. Тот факт, что кортиев орган разделяет сложный звук на синусоидальные составляющие, не вызывает сомнений, но как именно это происходит, еще предстоит выяснить.

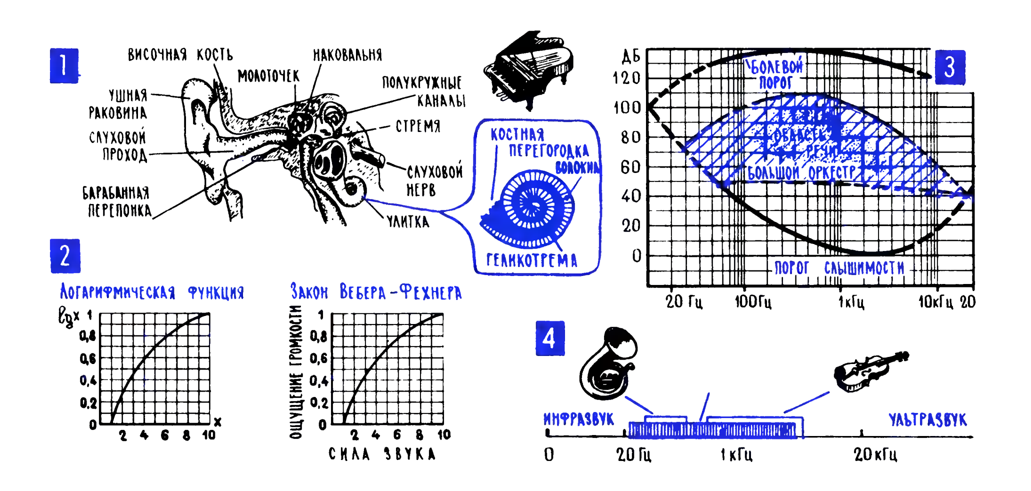
Самые низкие и самые высокие слышимые частоты у разных людей разные, но в среднем можно считать, что нижняя граница слышимых звуков —

это 16—20 *Гц*, а верхняя — 18—22 *кГц* (18 000—22 000 *Гц*). Кстати, верхняя граница сильно смещается с возрастом, и нередко пожилые люди слышат звуки лишь до 10—12 *кГц*. В то же время встречаются, хотя и очень редко, рекордсмены — люди, которые слышат частоты вплоть до 28—30 *кГц*. Официальной границей слышимых звуков, как правило, считают 20 *Гц*—20 *кГц*. Более низкочастотные неслышимые звуки — это инфразвук, более высокочастотные — ультразвук. То, что мы не слышим ультразвуки и инфразвуки, разумеется, никак не влияет на их природу. Это точно такие же, как и слышимый звук, чередующиеся волны сжатий и разрежений воздуха или какой-либо иной среды.

Одна из самых замечательных особенностей нашего слуха — огромный диапазон улавливаемых звуковых давлений. Самый слабый звук, который мы слышим, тот, что находится на пороге слышимости, несет всего 10^{-2} *Вт/м*². Самый сильный звук несет 10 *Вт/м*², он находится уже на пороге нестерпимой боли или даже повреждения тонких механизмов слуха. Таким образом наш слух воспринимает звуки, мощность которых различается в 10 000 000 000 000 раз. Если бы удалось построить весы с таким рабочим диапазоном, то они одинаково хорошо взвешивали бы и каплю воды, и огромный океанский корабль массой в десятки тысяч тонн.

Особенно поражает высокая чувствительность нашего слуха, его способность улавливать очень слабые звуки. Судите сами: на пороге слышимости общее давление на барабанную перепонку не превышает 0,000 000 3 *г*; амплитуда ее колебаний измеряется миллионными долями сантиметра; амплитуда колебаний основной мембраны оказывается в несколько раз меньше, чем размеры самого маленького атома — атома водорода.

Т-102. Закон Вебера — Фехнера: ощущение громкости пропорционально логарифму силы звука. Наше ухо улавливает звуки, столь сильно отличающиеся по мощности, благодаря некоторой системе автоматической регулировки чувствительности: по мере того как сила звука нарастает, чувствительность слуха уменьшается. Иными словами, улавливая слабые звуки, наш слух в состоянии почувствовать разницу звуковой мощности на какие-то триллиардные доли ватта, а улавливая очень громкие звуки, ухо замечает различие в громкости, если она изменилась на несколько ватт (во всех случаях речь идет не о ваттах вообще, а о силе звука, о ваттах на квадратный метр). Экспериментальные исследования показали, что зависимость ощу- Т-102



Р-65

щения громкости от силы звука подчиняется логарифмическому закону. Напомним, логарифм (десятичный) какого-либо числа — это есть показатель степени, в которую нужно возвести 10, чтобы получить данное число. Сокращенно это записывается, например, так: lg100 = 2, то есть логарифм числа 100 равен 2. Действительно, если возвести 10 в квадрат (в степень 2), то как раз и получится 100. Точно так же нетрудно понять и другие записи — lg 1 000 000 = 6; lg2 = 0,3 и т. д. Логарифм, то есть, попросту говоря, цифра, забравшаяся на место показателя степени, с огромной силой влияет на результат. Так, например, если увеличить логарифм всего на две единицы, скажем с 2 до 4, то само число увеличится в 100 раз, а именно со 100 до 10 000 (lg 100 = 2; lg 10 000 = 4). Можно сказать об этом и другими словами: резкое изменение какого-либо числа приводит к сравнительно небольшому изменению его логарифма. И опять тот же пример, но уже прочитанный в обратном направлении: если увеличить какое-либо число в 100 раз, то его логарифм увеличится всего на две единицы (10 000 больше, чем 100, в 100 раз, а lg 10 000 больше, чем lg 100, всего на две единицы). Зависимость логарифма от самого числа, к которому он относится, называется логарифмической зависимостью. Именно на нее и похожа зависимость ощущения громкости от силы звука, похожа и по форме (Р-65; 2), и по существу: сильное изменение силы звука приводит к сравнительно небольшому изменению ощущения громкости. Эта зависимость, характерная, кстати, не только для слуха, но и для других «приемников» живой природы, получила название закона Вебера — Фехнера, по имени открывших ее ученых, математика и физиолога.

В нашей практической деятельности наступит такой момент, когда мы неотвратимо должны будем вспомнить закон Вебера — Фехнера, чтобы правильно выбрать важный элемент в одной из распространенных электронных схем. А многие музыканты каждодневно собственными мускулами чувствуют справедливость этого закона. Например, скрипачи и пианисты очень легко увеличивают громкость звучания инструмента в области тихих звуков, а вот повышение громкости в области громких звуков требует уже значительных усилий, большой физической работы, в самом прямом смысле этих слов.

Т-103. Бинауральный эффект позволяет определить распределение источников звука в пространстве. Для чего человеку два уха? Для резерва? Возможно... Однако же в сложной системе нашего слуха оба уха работают одновременно, и именно поэтому мы можем определить местонахождение источника звука. Правильнее было бы сказать «вычислить», хотя, конечно, сознательно никаких вычислений мы не производим, все, что нужно, автоматически подсчитывает мозг и выдает нам готовый результат. Например, в виде ощущения, что гитарист в оркестре сидит слева, а пианист — справа. Или что автомобиль приближается к нам сзади (Р-66).

Информация, необходимая для таких вычислений, появляется именно потому, что мы слушаем одновременно двумя ушами. На низших звуковых частотах регистрируется разность фаз, с которой звуковая волна приходит к правому и левому уху, на высших частотах — время запаздывания звука. Если, например, источник звука находится справа от нас, то к левому уху звуковая волна придет на несколько десятитысячных долей секунды позже, чем к правому. Так способность определять местонахождение источника звука получила название бинауральный эффект, то есть эффект слушания двумя ушами.

Т-104. Органы слуха развивались как средство сбора информации, а затем стали основой для звуковой связи людей. Из каждого уха по слуховому нерву

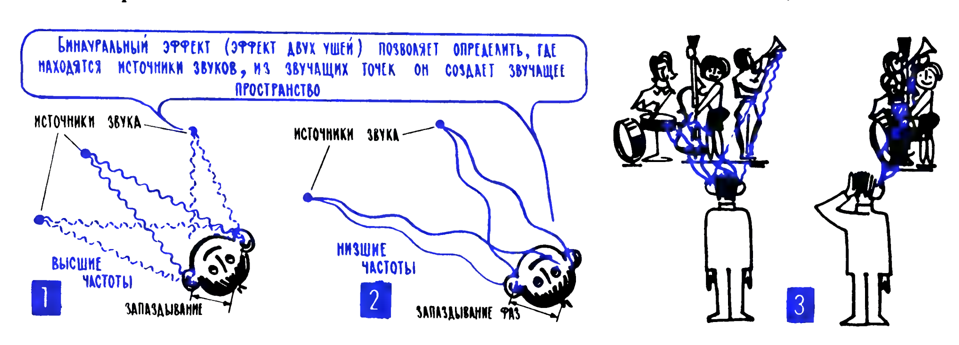
в мозг поступают особые электрохимические сигналы, нервные импульсы, в которых каким-то образом записана информация об услышанном звуке, в частности о его силе и спектре. Слуховой нерв состоит из многих тысяч нервных волокон, в нем самом уже имеется несколько «узлов связи», где происходит предварительная обработка нервных импульсов. Однако основная их обработка и расшифровка осуществляется в специальных участках коры головного мозга, расположенных в височных частях обоих больших полушарий.

Очень немного известно о том, как именно мозг анализирует поступающие в него нервные импульсы, в частности те, что приходят по слуховому нерву. Можно лишь сказать, что обработку нервных импульсов производят сложные клеточные и молекулярные машины, которые работают по сложным и совершенным программам. Их совершенством, поразительным и пока непостижимым, объясняется то, что мы по неуловимым звуковым оттенкам узнаем голос человека, которого не слышали много лет. Или распознаем слова независимо от того, каким голосом, в каком темпе, с какой громкостью и даже с каким акцентом они произнесены.

Органы слуха появились у животных позже всех других систем сбора информации. Специалисты говорят, что произошло это сравнительно недавно, всего сто — двести миллионов лет назад, когда наиболее смелые представители подводного мира стали выбираться на берег, постепенно превращаясь в сухопутных животных. В земных условиях звуковые волны приносят исключительно ценную информацию — журчание ручья, рычание приближающегося хищника, различные шорохи.

Развились органы слуха из боковой линии рыб, своеобразного органа давления, точнее, целой цепочки органов, вытянувшихся по обеим сторонам рыбьего тела от головы до хвоста. Боковая линия реагирует на медленные изменения давления, помогает рыбам в темноте огибать препятствия, чувствовать приближение рыб и даже слышать некоторые звуки. У рыб в основном наблюдаются простейшие реакции на звук: обычно они просто бегут от источника звука. Более поздние творения эволюции — земноводные — умеют уже выделять наиболее важные для них звуковые сигналы. Еще лучше развит слух у птиц. И наконец, у млекопитающих, к классу которых относимся и мы с вами, прием звуковых сигналов и особенно их обработка достигают высочайшего совершенства, становятся одним из главных средств добывания информации об окружающем мире.

А вот совсем уже недавно — может быть, миллион лет назад, а может быть, и того меньше — произошли события исключительной важности: совершенный орган слуха стал основой для появления и развития устной речи. Появились принципиально новые возможности общения людей, возможно-



Р-66

сти человеческого взаимодействия. И главное, развитие звуковой связи, появление звуковых сигналов — слов подняло на совершенно новую ступень одну из наших систем переработки информации — человеческое мышление. Человек стал мыслить короткими, экономными описаниями самых сложных явлений и предметов: вместо подробной картины падающей со скал воды — короткое слово «водопад», вместо детального портрета льва — короткое слово «лев».

Можно смело сказать, что человек стал человеком в значительной мере благодаря именно этому умению мыслить словами, которое появилось у наших далеких предков с развитием звуковой связи.

Т-105 **Т-105. Природные информационные системы стали основой мышления, а научившись мыслить, человек стал придумывать для себя искусственные информационные системы.** Как человек стал великаном? Что помогло ему пройти этот гигантский путь от вечно голодного обитателя темной, сырой пещеры до жителя благоустроенных городов и сел? От дикости, страха и суеверия до нынешнего могущества науки, до антибиотиков, операций на сердце, полетов на Венеру.

Среди многих важных и важнейших слагаемых человеческого прогресса едва ли не самое важное — информация. В процессе труда, в процессе общения людей совершенствовались их собственные природные информационные системы. А потом человек научился помогать этим творениям природы, научился сам создавать искусственные информационные системы, машины, приборы, приспособления, увеличивая тем самым главную свою силу — силу мышления.

К числу первых искусственных информационных приспособлений нужно, наверное, отнести древнейшие наскальные рисунки, первое продолжение человеческой памяти. От них пошло иероглифическое письмо, а затем письмо буквенное, слоговое, это величайшее из человеческих изобретений, позволившее в итоге создавать хранилища неограниченных объемов информации.

Появлялись устройства, помогающие человеку перерабатывать информацию. Типичный представитель таких устройств — электронный калькулятор, он умеет выполнять арифметические операции — складывать, вычитать, умножать и делить, то есть умеет делать то, что, казалось бы, относится к монополии нашего мозга.

В числе бессчетного многообразия явлений, с которыми встречается человек, есть так называемые лавинообразные процессы. Их главная особенность в том, что, развиваясь, эти процессы сами себя поддерживают, сами себя ускоряют. Типичный лавинообразный процесс — цепная реакция деления урана. Свободный нейтрон, попав в ядро атома урана, разрушает его. При этом из ядра выбрасываются три новых свободных нейтрона, которые могут разрушить еще три соседних ядра. Каждое из них выбросит свои три нейтрона и т. д.

Число распавшихся атомных ядер будет лавинообразно нарастать: в уране пойдет цепная реакция деления, лавинообразный процесс.

К числу лавинообразных процессов наверняка следует отнести и человеческий прогресс в использовании информации. Совершенствуя методы мышления и создавая новые информационные системы, человек увеличивает свое информационное могущество, а это в свою очередь приводит к дальнейшему прогрессу в части создания и совершенствования информационных систем. Для иллюстрации один лишь только пример — математика. Рождением математики, по сути дела, было появление некоторых новых приемов мышления, новых приемов переработки информации. Лавинообразно раз-

виваясь, они привели к появлению новых математических методов и в итоге позволили решить большое число научных и технических задач, которые без математики решить было бы невозможно.

Т-106

Т-106. Основная профессия радиоэлектроники — сбор, передача, переработка и хранение информации. Если внимательно присмотреться к окружающим нас электронным приборам и аппаратам, то можно легко увидеть, что все они помогают человеку, усиливают его природные способности в части сбора, передачи, хранения и переработки информации.

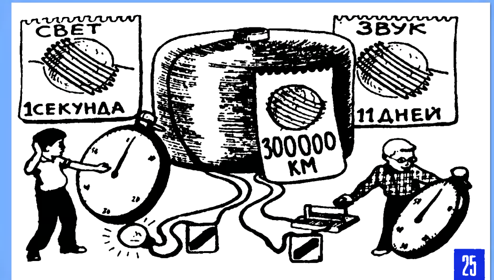
Что делает радиолокатор? Он позволяет капитану в густом тумане видеть встречные корабли и очертания берегов, позволяет видеть невидимое. А что делает радиотелефон? Он дает нам возможность переговариваться на таких расстояниях, которые никак не смогла бы пройти звуковая волна. Магнитофон дал нам новые хранилища информации, расширив тем самым нашу память. Электронная вычислительная машина считает, сравнивает, сопоставляет информацию, выполняет логические рассуждения, помогает нашему мозгу.

Основное сырье, которое поступает в электронные приборы и аппараты, так же как и основная продукция, которую они выпускают, — это не что иное, как информация.

За несколько десятилетий своего существования электроника научилась делать множество самых разных дел, освоила много профессий. Какой только нет электроники — медицинская, космическая, геофизическая, авиационная, биологическая, промышленная, сельскохозяйственная... И во всех этих областях электронные приборы доведены до очень высокого совершенства. Они измеряют микроскопические перемещения вплоть до миллиардных долей миллиардной доли миллиметра, передают изображение прямо с поверхности планет, поддерживают ритм сокращения сердечной мышцы, находят в земле полезные ископаемые, ведут самолеты на посадку при нулевой видимости, регистрируют нервные импульсы в одиночной живой клетке.

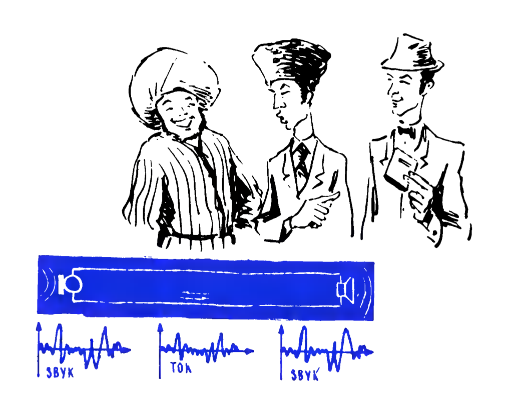
Основная особенность всех электронных приборов и аппаратов, в значительной мере определившая их удивительные возможности и огромную популярность, состоит в том, что любая информация живет в этих приборах и аппаратах в виде электрических сигналов. И главные операции с информацией: ее передача, переработка, записывание в память, извлечение из памяти — в итоге сводятся к некоторым прекрасно отработанным операциям с электрическими сигналами.





ГЛАВА 8

В ПЕРЕВОДЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ



Т-107 **Т-107. Электрический телеграф: буквы и цифры представлены комбинациями импульсов тока.** Одно из самых сложных спортивных соревнований — марафонский бег, состязание в беге на дистанцию 42 километра 195 метров. Столь необычная дистанция, как и само название «марафонский бег», связана с легендой о греческом воине, который почти две с половиной тысячи лет назад пробежал именно такое расстояние из селения Марафон в Афины с вестью о победе полководца Мильтиада над персами. Напрягая последние силы, добежал гонец до окраины Афин, сообщил радостную весть и упал бездыханным.

Еще каких-нибудь двести лет назад гонцы-скороходы, всадники, мчавшиеся на взмыленных лошадях, почтовые тройки были главными переносчиками информации на большие расстояния. Иногда проходило несколько месяцев, пока сообщение о событиях в Петербурге добиралось до отдаленных районов Сибири или Дальнего Востока. Лучшие столичные газеты публиковали свежие зарубежные новости недельной давности.

Сегодня телеграмма, отправленная из Ленинграда, уже через час может быть вручена адресату во Владивостоке. Редакторы московских газет в любую минуту могут связаться со своими корреспондентами в Тамбове, Париже или Лос-Анджелесе. Сидя у своих телевизоров, миллионы людей видят и слышат то, что в данный момент происходит за тысячи километров от их дома.

Все это стало возможно потому, что информацию научились передавать с помощью самого быстрого в мире гонца — с помощью электрических сигналов. Если бы древние греки имели в своем распоряжении батарейку, лампочку и достаточное количество провода, то они могли бы построить простейшую линию электросвязи между Афинами и Марафоном, в виде этакого растянутого почти на пятьдесят километров карманного фонарика. Лампочку нужно было бы установить в Афинах, а выключатель — в Марафоне (Р-67; 1) и договориться об условном коде, например о таком: один сигнал, одна вспышка лампочки, означает «победа», две вспышки — «поражение».

Правда, закон Ома напоминает, что создать линию электросвязи с лампочкой на конце не так-то просто. Для нормального свечения лампочки нужен сравнительно большой ток, а сопротивление многокилометровых проводов велико, и из-за этого на самой соединительной линии будет теряться большое напряжение. Если даже применить сравнительно толстые медные провода, скажем диаметром 1 *мм*, то и в этом случае общее сопротивление двухпроводной линии протяженностью около 40 *км* будет больше, 2 *кОм*. Даже при очень слабенькой лампочке для карманного фонарика, которой нужен ток всего 60 *мА*, понадобится батарея с напряжением около 120 *В*,

чтобы в цепи с сопротивлением 2 *кОм* создать этот небольшой ток (120 *В*: :2 *кОм* = 60 *мА*) — лампочке достанется 2—3 вольта, остальное — проводам.

Но оставим пока в стороне электротехнические подробности и вернемся к существу дела — к принципам передачи информации с помощью электрических сигналов.

Хотя настоящий телеграф и похож на нашу линию электросвязи с лампочкой на приемном конце, однако устроен и работает он совсем по-иному. Во-первых, сообщения передаются с помощью условного кода, в котором не событию и не отдельному слову, а каждой букве алфавита, цифре или знаку препинания соответствует определенная комбинация электрических сигналов. Существует два основных телеграфных кода — код Морзе (иногда говорят — азбука Морзе), в котором используются комбинации «точек» и «тире», то есть коротких и длинных импульсов тока (Р-67; 2), и код Бодо, в котором все импульсы одинаковы, а шифр той или иной буквы отличается только комбинациями импульсов и пауз (Р-67; 6).

Приемная телеграфная аппаратура, работающая по коду Морзе, записывает принятые сообщения в виде точек и тире. Аппаратура, работающая по коду Бодо, сразу печатает буквенный текст. Знакомое всем слово «телеграф» можно перевести так — «пишет на расстоянии», а «телетайп» — «печатает на расстоянии».

Т-108. Замечательные достоинства электрического сигнала: высокая скорость и широкие возможности обработки. Мировой рекорд в марафонском беге чуть меньше 2 часов 18 минут. Электрический гонец проходит марафонскую дистанцию за 0,00015 *сек* — скорость электрического сигнала такая же, как и скорость света — 300 000 *км/сек*. Не нужно, однако, думать, что с такой гигантской скоростью движутся электроны в электрической цепи — движение свободных зарядов происходит довольно медленно, за секунду они проходят какие-то миллиметры. Со скоростью света вдоль проводов движется электрическое поле, оно-то и заставляет двигаться заряды сразу по всей цепи. Это несколько напоминает картину трогания с места длинного железнодорожного состава. Первый рывок электровоза довольно быстро достигает последнего вагона (подобно электрическому полю) и заставляет сразу все вагоны сдвинуться с места, хотя скорость вагонов вначале очень мала (подобно скорости свободных электронов). **Т-108**

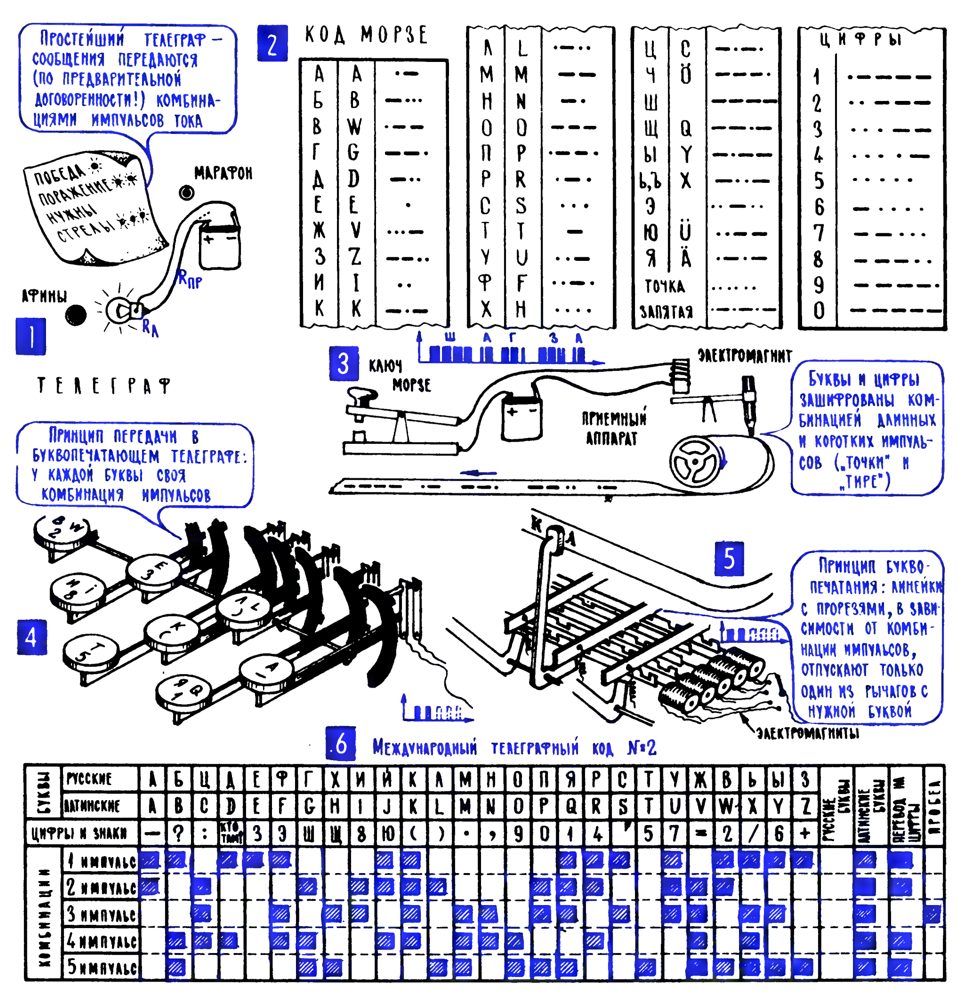
Другое важное достоинство электрического сигнала — его, если можно так сказать, исключительная пластичность, податливость самым разным видам обработки. Делитель или шунт могут уменьшить напряжение или ток, трансформатор может их увеличить. Направив два тока в общий провод, можно получить суммарный ток, сложить сигналы; изменив направление одного из токов, вы получите разностный сигнал. С помощью фильтров можно разделять сигналы разных частот или отделять постоянные токи от переменных. И это лишь небольшая часть операций, которые производят с электрическими сигналами.

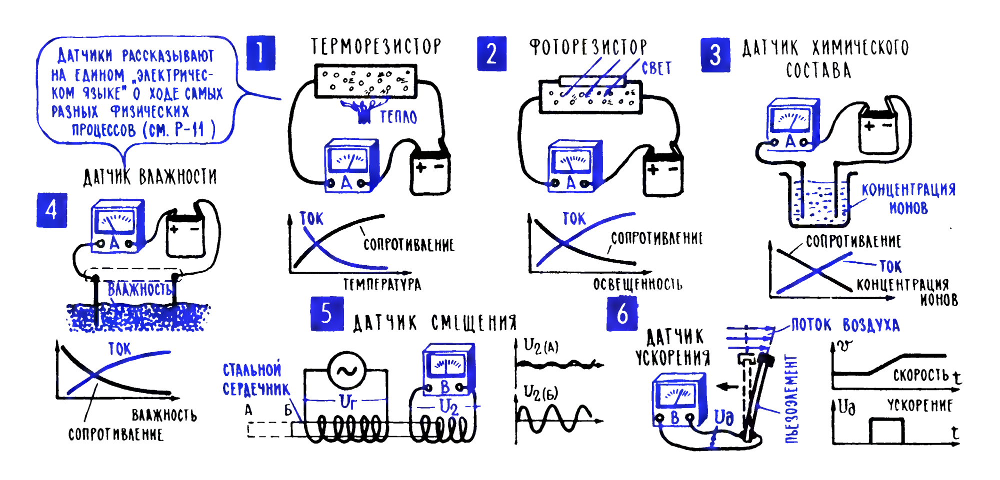
И еще одно достоинство — самые разные физические, химические, биологические и иные показатели легко перевести на электрический язык, отобразить в виде электрических сигналов (Р-11; Р-68). Так, например, термопара — два определенным образом подобранных металлических проводника (медь — висмут, железо — константан, медь — константан) — при нагревании создает э.д.с., и она тем больше, чем сильней нагрета термопара. Поэтому любые изменения температуры с помощью термопары отображаются в электрическом сигнале.

Появление э.д.с. в термопаре объясняется тем, что при нагревании энергия свободных электронов в одном из металлов повышается сильнее, чем во втором, электроны переходят из одного металла в другой, и один из них оказывается заряженным положительно, второй — отрицательно. Другой датчик температуры — терморезистор. Его сопротивление меняется с температурой сильнее, чем у рядовых проводников, и поэтому ток в цепи достаточно хорошо повторяет все изменения температуры терморезистора, включенного в эту цепь.

Подобным же образом датчики света — фотоэлемент и фоторезистор — переводят на электрический язык информацию об освещенности. Фотоэлемент — это генератор, в нем под действием света происходит обычная электризация электродов: попадая на один из них, порции световой энергии просто вырывают электроны из некоторых атомов, превращают их в положительные ионы. И в фоторезисторе под действием света увеличивается количество свободных зарядов, а значит, меняется и сопротивление фоторезистора.

Р-67





Р-68

А вот еще один тип датчика — пьезокристалл. Если сжать такой кристалл, то на определенных его гранях в результате сложных внутренних процессов появятся избыточные электрические заряды, появится э.д.с. Она будет тем больше, чем сильнее сжат кристалл, если заменить сжатие на растягивание, то изменится и полярность э.д.с. Такой пьезокристалл переводит на электрический язык самые сложные движения, перемещения, если они как-то передаются кристаллу.

С одной разновидностью датчиков движения мы сейчас познакомимся несколько более подробно. Это микрофоны — собиратели информации об изменениях звукового давления, переводчики звуковых сигналов на электрический язык.

Т-109

Т-109. Микрофон создает электрическую копию звукового сигнала. Самый простой и самый распространенный способ перевода звука на электрический язык — это создание точной электрической копии звукового сигнала, создание такого переменного тока или такого переменного напряжения, которые следовали бы за всеми изменениями звукового давления (Р-69). Такое преобразование как раз и осуществляет микрофон.

Существует несколько разных типов микрофонов, все они решают одну и ту же задачу, но используют при этом разные физические процессы. Основа угольного микрофона (Р-69; 1) — мелкий угольный порошок. Под действием звуковых волн частички порошка то сближаются, то, наоборот, несколько отходят друг от друга. При этом меняется сопротивление порошка и ток в цепи, в которую включен микрофон. Для включения угольного микрофона могут понадобиться источник постоянного тока и элемент, который сможет отделить постоянный ток от переменного, появившегося под действием звуковых колебаний. Роль такого разделителя прекрасно выполняет трансформатор (постоянная составляющая просто не создает напряжения во вторичной обмотке), который одновременно, если нужно, может повысить переменное напряжение.

В пьезоэлектрическом микрофоне под действием звуковых волн несколько деформируется пьезокристалл и создает при этом электрическую копию звука (Р-69; 2.) В динамическом микрофоне напряжение наводится на легкой подвижной катушке, которую звуковые волны двигают в магнитном поле (Р-69; 3. Т-56). В ленточном микрофоне вместо катушки одиночный проводник, тончайшая алюминиевая ленточка (Р-69; 4). Основа электромагнитного (индукционного) микрофона — магнитная цепь из стали, в которой имеется

небольшой воздушный зазор (Р-69; 5). Под действием звуковых волн стальная мембрана колеблется, воздушный зазор меняется, вместе с ним меняется магнитное сопротивление всей магнитной цепи, а значит, и общий магнитный поток (Т-54. Т-60). Этот поток пронизывает витки неподвижной катушки и при изменении магнитного потока в ней наводится э.д.с., создается электрическая копия звука. В конденсаторном микрофоне одна из обкладок подвижна, и под действием звуковых волн она колеблется. При этом и емкость конденсатора несколько меняется, повторяя все изменения звукового давления. Конденсатор включен в цепь постоянного тока и при изменении емкости происходит заряд или разряд конденсатора: если пластины сближаются и емкость растет, то к пластинам движутся дополнительные заряды, если пластины удаляются, то некоторое количество зарядов уходит с них.

О достоинствах или недостатках того или иного микрофона рассказывают его характеристики. Такие, например, как чувствительность — она показывает, какое напряжение появляется на выходе микрофона при изменении звукового давления на 1 $H/м^2$. В корпусе некоторых микрофонов находится дополнительное оборудование (трансформатор, микрофонный усилитель), и в этом случае чувствительность указывают для всего комплекса в целом (например, микрофон + трансформатор).

Еще одна важная характеристика микрофона — диаграмма направленности (Р-69; 6, 7). В некоторых случаях, например, когда микрофон установлен в зрительном зале и собирает «реакцию публики», он должен одинаково хорошо принимать звуки со всех сторон. Здесь нужен ненаправленный микрофон, его часто сокращенно обозначают буквами НН. А бывает, что нужно передать только голос певца или оратора, и тогда лучше будет работать однонаправленный микрофон ОН,— по крайней мере, он не будет собирать лишние шумы, которые приходят к нему с разных сторон.

Другие важные характеристики микрофона удобнее будет представить после того, как мы познакомимся с громкоговорителями.

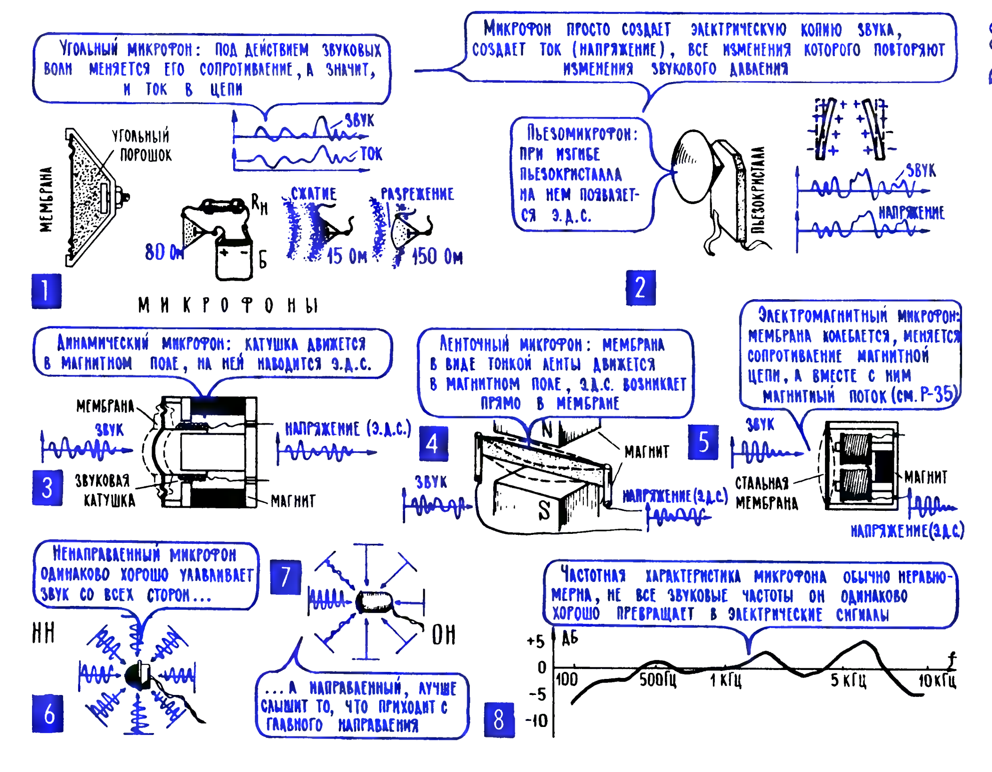
Т-110

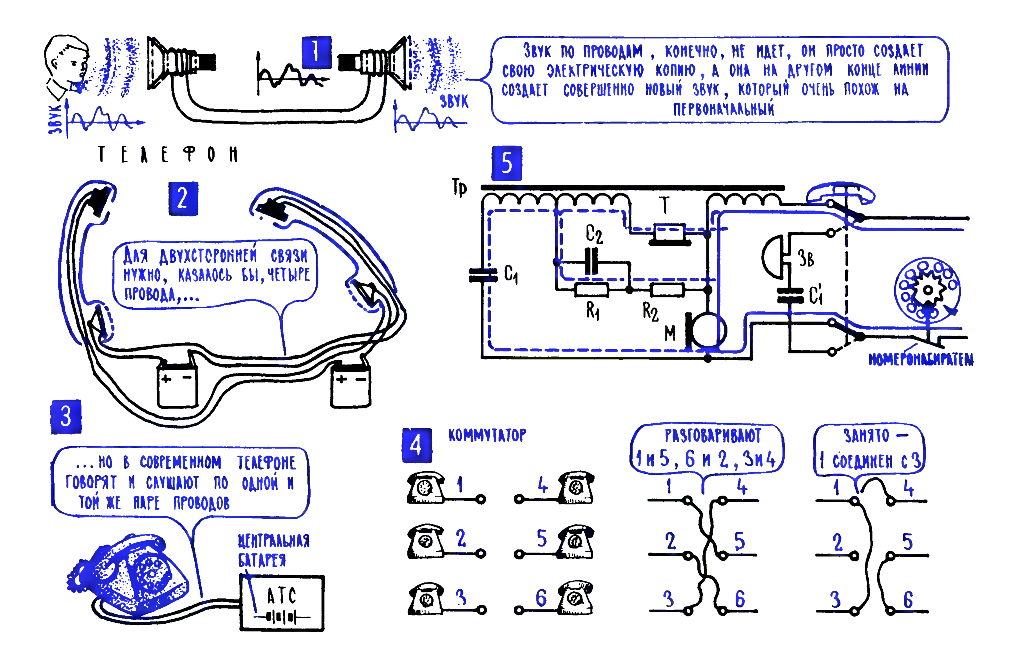
Т-110. Громкоговоритель создает звуковую копию электрического сигнала. Многие типы электрических генераторов являются машинами обратимыми — они могут работать двигателями, если подать на них напряжение (Р-72; 1, 2). Точно так же многие типы микрофонов могут производить обратное преобразование — создавать звуковые волны, используя энергию электрического сигнала. Если к определенным граням пьезокристалла подвести напряжение, то в результате все того же пьезоэффекта произойдет некоторая деформация кристалла. А если подвести к нему переменное напряжение, то деформация будет идти непрерывно, кристалл будет двигаться и излучать звуковые волны.

Будет двигаться и создавать звук также мембрана электромагнитного (индукционного) микрофона, если по его катушке пропустить низкочастотный переменный ток. При изменении тока меняется магнитный поток катушки и мембрана то сильнее, то слабее притягивается к сердечнику электромагнита, совершает колебания (Р-69; 5). Точно так же двигается в поле магнита катушка динамического микрофона — она сама, по сути, представляет собой электромагнит. Магнитное поле катушки, а значит, и сила ее взаимодействия с внешним постоянным магнитным полем меняется при изменении тока в цепи, заставляя катушку двигаться. Именно электродинамическая система («электро» — это ясно, что такое, «динамо» — значит движение) постоянный магнит — подвижная катушка есть основа динамического громкоговорителя (динамика), самого распространенного преобразователя электрических сигналов в звук (Р-72; 4).

Т-111. Телефонная связь: микрофон создает электрическую копию звука, а на другом конце линии громкоговоритель превращает электрический сигнал в звуковой. Микрофон создает электрическую копию звука. Громкоговоритель создает звуковую копию тока. Оба они вместе — микрофон и громкоговоритель — позволяют построить линию телефонной связи, в которой происходит преобразование — звук — ток — звук, и информация со скоростью света переносится по проводам на огромные расстояния, практически недоступные звуковой волне. Телефон имеет много общего с телеграфом (Т-107). И здесь и там есть передающее устройство — микрофон и телеграфный ключ. Есть приемники информации — мигающая лампочка (самопишущий аппарат) или громкоговоритель. И здесь и там информация путешествует по проводам в виде электрического сигнала. Но только в телеграфе мы нагружаем электрический сигнал информацией с помощью условного кода, придуманного Самюэлем Морзе или Жаном Бодо, а в телефоне используем код, придуманный самой природой.

Что такое звуковые волны, которые мы выбрасываем в пространство, когда произносим те или иные слова? Это — звуковые сигналы, в характере изменения которых как раз и записана, закодирована та или иная смысловая информация (Т-99). Телеграфисты должны знать код, с помощью которого они передают сообщения, а вот телефонисты и знать не знают, каким именно способом, в каких именно изменениях звука скрывается «люблю», а в каких «ненавижу». У телефонистов лишь одна задача — копировать, в микрофоне создавать меняющийся ток, точную копию звука, а в громкоговорителе создавать звук, точную копию тока. И если производить копирование точно, не изменяя, не искажая спектр звукового или электрического сигнала, то





этот сигнал в итоге создаст точно такой же звук, какой на передающей стороне попал в микрофон (Р-70; 1). И что человеческий голос зашифровал в этом звуке, то и получит человеческое ухо.

Несколько слов о том, как работает «первоисточник» — как рождаются звучащие слова. Все начинается с голосовых связок, они находятся в глубине гортани, на пути постоянного воздушного потока, идущего из легких. Подобно двустворчатой двери, связки расходятся при дыхании, а для образования звука смыкаются и начинают колебаться в воздушном потоке — их размеры и натяжение определяют частоту родившегося звука. Так у детей и женщин связки короче (18—20 *мм;* у мужчин — 20—24 *мм*) и голос более высокий. Но рождение звука связками — это лишь полдела. Дальше в действие вступают язык, небо, зубы, губы. Они, как и сами связки, по нервным волокнам получают сигналы управления, перемещаются мышцами и, воздействуя на спектр начального звука, формируют произносимое слово.

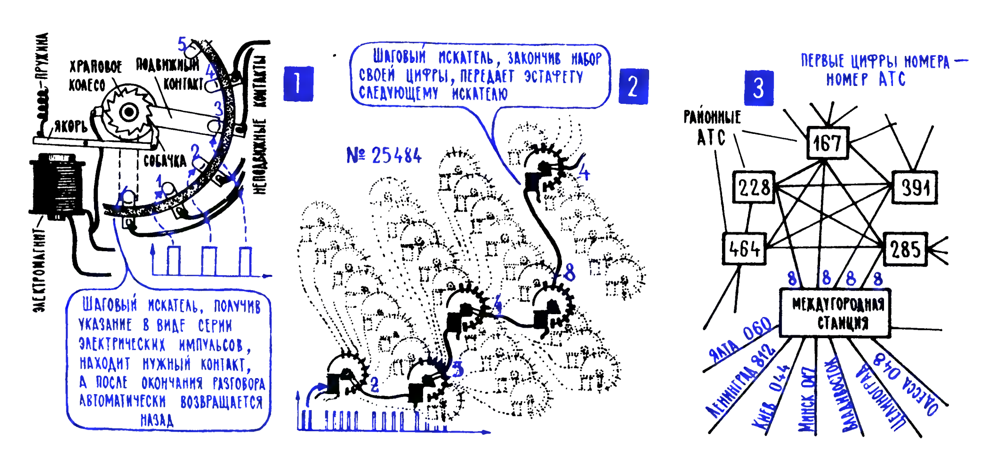
Формально телефон не относится к электронике, но мы все же уделим ему некоторое внимание. Хотя бы потому, что каждый человек должен иметь представление о своем верном помощнике — телефоне.

Линия телефонной связи упрощенно показана на Р-70; 2. Одно из упрощений состоит в том, что на рисунке абонентов соединяют четыре провода, а в действительности удается обойтись двумя проводами. В телефонных аппаратах имеется устройство, благодаря которому свой собственный сигнал резко ослабляется и не заглушает голос далекого абонента. Поэтому-то свой собственный микрофон и можно подключать к тому же проводу, по которому к тебе издалека приходит сравнительно слабый «чужой» сигнал. Кроме того, в современных системах телефонной связи источник постоянного тока, как правило, находится не в телефонном аппарате, а на центральной станции, и постоянное напряжение подается к абонентам по тем же проводам, по которым идут электрические сигналы (Р-70; 3).

На центральной станции находится и коммутатор, он позволяет любому абоненту большой телефонной сети соединиться с любым другим абонентом (Р-70; 4). Когда-то на станциях стояли ручные коммутаторы — абонент просил телефонистку: «Соедините меня, пожалуйста, с таким-то номером...», и она вручную производила необходимые для этого переключения линий. Сейчас соединения абонентов производится автоматически, и телефонные станции поэтому называют автоматическими, АТС.

Рисунок Р-71; 1 поясняет, как работает один из самых первых типов автоматических коммутаторов — декадный (на десять абонентов) шаговый искатель. С телефонного аппарата к нему поступает цифра, закодированная количеством электрических импульсов — от одного до десяти. Каждый такой импульс быстро втягивает сердечник электромагнита, заставляет подвижный контакт искателя сдвинуться на один шаг вперед. Сразу же после этого пружина возвращает сердечник в исходное положение, а подвижный контакт остается на месте в ожидании следующего импульса. (Подвижный контакт вернется в начальное положение только по окончании разговора, после того, как в линию пойдет сигнал «отбой».) Подвижный контакт искателя сделает столько шагов, сколько импульсов тока придет к электромагниту, а значит, он по заданному числу импульсов осуществит соединение с нужным абонентом.

В больших городах сотни тысяч, миллионы абонентов, и, конечно, даже и думать нельзя о шаговых искателях с таким гигантским количеством неподвижных контактов (не говоря уже о том, что невозможно было бы посылать «заказ» из нескольких тысяч электрических импульсов). Поэтому используется ступенчатый принцип соединения по разрядам, напоминающий нашу систему десятичного счета, с переходом от одного разряда к другому (Р-71; 2). Первая цифра, первая серия импульсов, приводит в действие первый шаговый искатель, первую декаду этой многоступенчатой системы. Этот искатель выбирает один из десяти искателей следующей «ступени», тот выбирает один искатель из следующего десятка, и так до тех пор, пока линия не подключается к последнему искателю, который как раз и производит окончательное соединение с нужным абонентом. Сигналом для перехода к следующему разряду, для отключения электромагнита работавшего декадного счетчика и включения электромагнита декадного счетчика следующего разряда, служит сравнительно длинная пауза между набором соседних цифр (длинная в сравнении с паузами между импульсами одной цифры).



Во многих городах имеется несколько АТС, связанных друг с другом большим числом соединительных линий. Первые цифры номера, первые серии импульсов выводят вас на АТС того района, где находится вызываемый абонент (Р-71; 3). В последнее время широкое распространение получило и автоматическое соединение с другими городами. В этом случае первые набираемые цифры — код города — выводят на линию междугородной связи, по которой вы соединяетесь прямо с АТС вызываемого города, а затем уже приводите в действие именно ее коммутаторы, набирая номер своего далекого абонента.

На Р-70; 5 очень упрощенно показана схема телефонного аппарата. Его номеронабиратель при вращении диска разрывает контакты, и в линию идут импульсы тока, которые как раз и приводят в движение шаговые искатели на АТС. Когда на телефонном аппарате лежит трубка, то к соединительной линии подключена его вызывная цепь, проще говоря, электрический звонок — именно на него поступает с центральной станции сигнал вызова. А после того, как трубка снята, звонок автоматически отключается, к линии присоединяется микрофон и телефон (громкоговоритель), и можно вести разговор.

Рассказывая о телефонной связи, мы допустили некоторую терминологическую неточность, назвав громкоговорителем прибор, превращающий ток в звук. В действительности же его так называть не следовало бы, так как, во-первых, в телефоне этот прибор создает сравнительно слабый звук и здесь скорее подошло бы название «тихоговоритель» или, в крайнем случае, название без оценок — «говоритель». Прибор этот нельзя называть громкоговорителем еще и потому, что у него есть узаконенное название — телефонный капсюль, или головной телефон, или, наконец, просто телефон. Это, конечно, большое неудобство — одним и тем же словом «телефон» называть две совершенно разные вещи: и всю систему для передачи звука на расстоянии, и только одну ее часть — преобразователь тока в звук. Чтобы каждый раз не делать лишних пояснений, пришлось воспользоваться словом «громкоговоритель», временно применив его не по назначению. Сейчас справедливость можно восстановить — отныне громкоговорителями, как и принято, будем называть устройства, которые создают действительно громкий звук

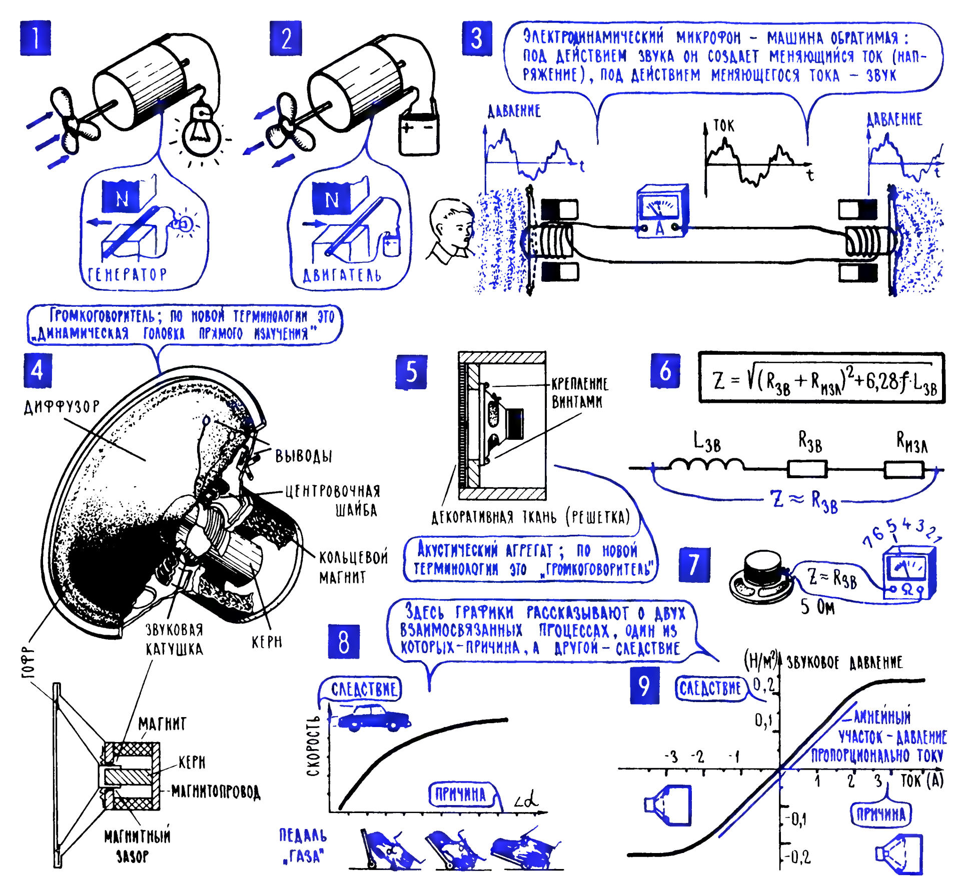
С-12

С-12. МИКРОФОНЫ

В любительской практике находят применение главным образом динамические микрофоны (Р-69) с встроенными трансформаторами и без них. В первом случае рекомендуемое сопротивление нагрузки микрофона (нагрузкой является входное сопротивление усилителя или входного делителя) примерно 200—300 *Ом*; микрофоны без трансформаторов рассчитаны на нагрузку с сопротивлением в несколько *Ом*; они обычно подключаются непосредственно ко входу транзисторного усилителя.

Основные характеристики микрофонов: полоса частот (в скобках указана неравномерность частотной характеристики в пределах этой полосы); чувствительность *U* — напряжение (*мВ*), которое появляется на выходе микрофона под действием звукового давления в 1 *Па* (1 *Н/м*²), характеристика направленности (НН — ненаправленные микрофоны, то есть такие, которые одинаково хорошо улавливают звуки со всех направлений, и ОН — однонаправленные микрофоны звук с главного направления «слышат» лучше, чем шумы, которые приходят с других направлений.

МД-62 100 — 10 000 (15); *U* — 0,2; *R* — 250 *Ом;* ОН.
МД-59 50 — 15 000 (8); *U* —0,63; *R* — 250 *Ом;* НН.
МД-44 100—8000 (12); *U* — 0,63; *R* — 250 *Ом;* ОН.
МД-47 100—10 000 (20); *U* — 15; *R* — 500 *кОм;* НН.
82А-11 150—8000 (17); *U* — 1,25; *R* — 400 *Ом;* ОН.
82А-9 100—8000 (12); *U* — 1; *R* — 300 *Ом;* ОН.



в приемниках, телевизорах, магнитофонах, хотя и здесь мы допустим некоторую неточность в терминологии (Т-112).

Т-112. Основные детали динамического громкоговорителя: корпус, магнитная система, звуковая катушка, система подвеса катушки, диффузор. Устройство электродинамического громкоговорителя, или, короче, динамического громкоговорителя, или, еще короче, динамика, показано на Р-72; 4. Несколько лет назад громкоговоритель стали называть динамической головкой прямого излучения, а название «громкоговоритель» передали мощным акустическим системам, в них обычно входит несколько таких головок, которые мы по старинке будем все же называть громкоговорителями — десятки лет существовало такое название, оно навсегда осело в миллионах радиолюбительских книжек и статей.

С тыльной стороны корпуса — магнитная система. В нее входит кольцеобразный магнит из магнитных сплавов или из магнитной керамики — определенным образом спрессованных и «спеченных» порошков, которые содержат ферромагнитные вещества — ферриты. В магнитную цепь входят также стальные фланцы и стальной цилиндр — керн. Только в одном месте стальная магнитная цепь разорвана, имеет кольцеобразный воздушный зазор — именно в этом зазоре находится подвижная катушка, ее обычно называют звуковой катушкой. Чтобы не ослаблять магнитное поле, охватывающее витки звуковой катушки, зазор для нее делают очень небольшим, расстояние

между катушкой и стенками «туннеля», в котором она ходит, измеряется долями миллиметра, в худшем случае миллиметрами. Катушка подвешивается на эластичной центрирующей шайбе, и даже небольшое ее случайное смещение приводит к одному из самых тяжелых повреждений громкоговорителя — катушка начинает задевать за фланец, начинает затирать.

Другая возможная неисправность — сползание витков катушки с ее тонкого картонного каркаса (катушка намотана в два, а иногда и в четыре слоя). Устранить эту неисправность очень сложно, бывает, что остается лишь выбросить громкоговоритель, у которого сползли витки звуковой катушки.

К катушке прикреплен конический диффузор, спрессованный или отлитый из особой бумажной массы. Именно он, двигаясь вместе с катушкой, подобно поршню насоса, увлекает за собой основную массу воздуха. На самом диффузоре закреплены две медные заклепки — к ним подпаяны выводы звуковой катушки. От этих заклепок отходят два гибких медных многожильных провода, которыми катушка соединяется с внешним миром. Распространенное и устранимое повреждение — обрыв одного из выводов — легко обнаружить, внимательно осмотрев громкоговоритель.

С-13. ГОЛОВКИ ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ПО СТАРОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ — ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ)

Для нескольких типов громкоговорителей (динамических головок) приводятся следующие основные данные: полоса частот (в *Гц;* в скобках указана неравномерность частотной характеристики в пределах этой полосы, в *дБ*); *Z* — полное сопротивление звуковой катушки (в *Ом;* активное сопротивление, измеряемое омметром, примерно на 10—20% меньше); габариты в *мм*; для круглых громкоговорителей две цифры — диаметр *d* и высота, для эллиптических три цифры — оси эллипса и высота; в некоторых случаях приводится название приемника, магнитофона или телевизора, где применен данный тип громкоговорителя (динамической головки).

Первая цифра в названии громкоговорителя во всех случаях указывает его номинальную мощность в *Вт,* это электрическая мощность, которая подводится к звуковой катушке.

0,025ГД-2. 1000—3000 *Гц* (18); *Z* — 60; *d* 40 × 16,5; П — «Рубин».
0,05ГД-2. 700—2500 *Гц* (18); *Z* — 6,5; *d* 40 × 16,5; «Орленок».
0,1ГД-12. 450—3150 *Гц* (18); *Z* — 10; *d* 60×27; «Нейва-М», «Юпитер».
0,25ГД-2. 315—3550 *Гц* (18); *Z* — 10; *d* 70 × 36; «Банга», «Селга».
0,5ГД-10. 315—5000 *Гц* (15); *Z* — 8,5; *d* 105 × 50; «Альпинист».
0,5ГД-12. 200—6300 *Гц* (15); *Z* — 6,5; *d* 205 × 50; «Альпинист».
0,5ГД-30. 125—10 000 *Гц* (15); *Z* — 26; 125 × 80 × 47.
0,5ГД-36. 1000—16 000 *Гц* (16); *Z* — 10; *d* 80 × 34,5.
1ГД-3. 5000—18 000 *Гц* (10); *Z* — 12,5; *d* 70 × 33; «Симфония».
1ГД-18. 100—10 000 *Гц* (15); *Z* — 6,5; 156 × 98 × 58; «Яуза-6».
1ГД-28. 100—10 000 *Гц* (15); *Z* — 6,5; 156 × 98 × 58; «Рекорд-68».
1ГД-36. 100—12 500 *Гц* (10); *Z* — 8; 100 × 160 × 58.
2ГД-22. 100—10 000 *Гц* (15); *Z* — 12,5; 82 × 280 × 77.
2ГД-28. 100—10 000 *Гц* (15); *Z* — 6,5; *d* 152 × 52; «Рекорд-68».
2ГД-36. 8000—20 000 *Гц* (12); *Z* — 8; 50 × 80 × 35.
3ГД-1. 200—5000 *Гц* (10); *Z* — 8; *d* 150 × 54; «Симфония».
3ГД-2. 5000—18 000 *Гц* (10); *Z* — 15; 80 × 80 × 30.
3ГД-31. 3000—18 000 *Гц* (15); *Z* — 8; 100 × 100 × 48.
3ГД-38. 80—12 500 *Гц* (15); *Z* — 4; 160 × 160 × 73,5.
4ГД-7. 63—12 500 *Гц* (10); *Z* — 4,5; *d* 202 × 76.
4ГД-9. 100—8000 *Гц* (18); *Z* — 4,5; 204 × 134 × 68; «АТ-18», «АТ-66».
4ГД-28. 63—12 500 *Гц* (15); *Z* — 4,5; *d* 202 × 71,5; «Урал-3», «Урал-5».
4ГД-36. 63—12 500 *Гц* (10); *Z* — 4,8; 200 × 200 × 85.
6ГД-2. 40—5000 *Гц* (10); *Z* — 8; *d* 252 × 106; «Симфония».
6ГД-3. 100—10 000 *Гц* (12); Z — 4; 160×240×87.
8ГД-1. 40—1000 *Гц* (10); *Z* — 8; *d* 252 × 135.
10ГД-30. 63—5000 *Гц*. (15); *Z* — 8; 240 × 240 × 125.

Т-113. Две важные характеристики громкоговорителя — сопротивление звуковой катушки и электрическая мощность. Чтобы громкоговоритель излучал звуковые волны, к его звуковой катушке нужно подвести низкочастотный электрический сигнал — переменное напряжение. Под действием этого напряжения по звуковой катушке пойдет низкочастотный переменный ток, он создаст магнитное поле катушки, оно начнет взаимодействовать с полем постоянного магнита, и катушка придет в движение. Каким будет этот ток, а значит, и интенсивность движения диффузора, зависит не только от напряжения. В соответствии с законом Ома, это еще зависит от сопротивления звуковой катушки. Сопротивление это — характеристика сложная, его величину определяют несколько физических процессов. Здесь и обычное активное сопротивление проводов, и те затраты энергии, которые связаны с излучением звуковых волн, и, наконец, индуктивное сопротивление катушки — она, правда, содержит лишь несколько десятков витков, имеет небольшую индуктивность $L_{зв}$, однако же на самых высших звуковых частотах и эта индуктивность создает заметное индуктивное сопротивление (Т-78. Р-72; 6), которое прибавляется к чисто активному, как иногда еще говорят, омическому сопротивлению проводов катушки $R_{зв}$.

Общее сопротивление, которое образуется и чисто активным, и реактивным сопротивлением (индуктивным или емкостным или обоими одновременно), называют комплексным сопротивлением и обозначают буквой z. Поскольку индуктивная составляющая комплексного сопротивления катушки $z_{зв}$, как и всякая другая индуктивная составляющая, меняется с частотой (Т-78), то и общее комплексное сопротивление катушки тоже меняется с частотой. В справочных таблицах (С-13) сопротивление звуковой катушки $z_{зв}$ указывают для частоты 1000 *Гц*. Обычно оно всего на 10—20 процентов больше чисто активного сопротивления катушки $R_{зв}$, и поэтому, смирившись с некоторой погрешностью, можно считать сопротивлением звуковой катушки именно величину $R_{зв}$. Это очень удобно, потому что $R_{зв}$ можно легко измерить омметром (Р-72; 7).

Другая важная характеристика громкоговорителя — его мощность P. В данном случае понятие «мощность» имеет тот же смысл, что и для любого другого потребителя энергии: указанная на громкоговорителе или в справочной таблице величина мощности P — это та граница, которую нельзя переходить, то есть та мощность, которую нельзя превышать, подобно тому как нельзя подводить к электрической лампочке, двигателю или электронагревателю мощность большую, чем та, на которую они рассчитаны.

В справочных таблицах мощность громкоговорителя иногда указывают в непривычных для нас единицах измерения — *вольт-амперах (ВА)*. Произведение тока 1 *А* на напряжение 1 *В* дает единицу мощности 1 *Вт*, то есть можно сказать, что вольт-ампер и ватт — это одно и то же. Для чего же понадобилось иметь две одинаковые единицы мощности? Только для того, чтобы подчеркнуть, что бывает мощность двух видов — *активная* и *реактивная*. Активная — это та, которая тут же потребляется нагрузкой и тут же преобразуется в тепло, свет, механическую работу. А реактивная мощность — это та, которую потребляют от генератора реактивные элементы, катушка и конденсатор, и через какое-то время возвращают ее генератору (Т-76). Так вот, когда речь идет о реактивной мощности или о комплексной (в нее входит и активная и реактивная), то пользуются единицей вольт-ампер — *В · А*. А когда мощность чисто активная, то ее измеряют в ваттах.

Мощность, потребляемая громкоговорителем,— это комплексная мощность (опять-таки в основном за счет индуктивного сопротивления катуш-

ки), в справочных таблицах она приводится для частоты 1000 *Гц* и, естественно, указывается в вольт-амперах — *В · А*. Но комплексная мощность на частоте 1000 *Гц* весьма близка к чисто активной мощности *P*. Поэтому можно смело считать, что громкоговоритель потребляет именно столько, сколько потребляет активное сопротивление $R_{зв}$ его звуковой катушки.

В заключение — несколько слов горькой правды. Динамический громкоговоритель — очень плохой преобразователь энергии, он превращает в звуковые волны лишь два-три процента подводимой электрической мощности, коэффициент полезного действия громкоговорителя составляет 2—3 процента. Это значит, что, получая электрическую мощность 10 *Вт*, громкоговоритель создает звуковые волны мощностью 0,2—0,3 *Вт*. Правда, к этому ужасающему факту разбазаривания энергии нужно сделать два примечания, в какой-то мере утешительных. Во-первых, на расстоянии в несколько метров мы удовлетворительно слышим звук, если его излучатель создает акустическую мощность около 1—3 *мВт*. То есть мы услышим звучание громкоговорителя, к которому подведена электрическая мощность 50—100 *мВт*. А это величины сравнительно небольшие — такие мощности подводятся к громкоговорителю карманного приемника, мощность, потребляемая лампочкой карманного фонаря, в несколько раз больше. Для того чтобы создать громкий звук в достаточно большой комнате, вполне хватает электрической мощности 5—10 *Вт*.

Хуже дело обстоит в установках для озвучивания больших помещений, концертных залов, кинотеатров. Здесь уже нужны звуковые мощности в десятые доли ватта и даже в несколько ватт. А поэтому к громкоговорителям приходится подводить электрическую мощность 5—10—20 *Вт* или даже 20—50—100 *Вт*.

И второе утешительное примечание — можно было бы разными способами повысить коэффициент полезного действия громкоговорителя, но при этом ухудшилась бы способность точно, без искажений, изготавливать звуковую копию электрического сигнала. А именно это качество — воспроизведение звука без искажений, а не коэффициент полезного действия — важнее всего для громкоговорителя. И действительно, какой толк в том, что громкоговоритель дает более мощный звук, если вместо «А» он воспроизводит «У» или вместо мелодичного вальса — рев мотоциклетного мотора.

Т-114 **Т-114. График «причина — следствие» рассказывает о работе громкоговорителя.** Начнем с примера, не имеющего прямого отношения к громкоговорителю.

Шофер нажимает на педаль акселератора, или, как ее часто называют, педаль газа, и автомобиль набирает скорость. Первый из этих двух процессов (нажимание на педаль) есть причина, второй (увеличение скорости автомобиля) — следствие. О их взаимосвязи можно рассказать словами или формулой, но проще всего с помощью графика. График (Р-72; 8) покажет, что чем больше угол α отклонения педали, тем выше скорость автомобиля — водитель сильнее нажимает на педаль, в цилиндры двигателя поступает больше горючей смеси. Вначале с увеличением угла α скорость увеличивается довольно резко, но затем график идет все более полого. В значительной мере это объясняется тем, что с ростом скорости автомобиля возрастают разного рода потери энергии, например потери, связанные с завихрениями встречного воздуха. Да и мощность двигателя приближается к своему пределу.

Аналогичный график (Р-72; 9) «причина — следствие» хорошо иллюстрирует и работу громкоговорителя. Причиной здесь будем считать ток в

звуковой катушке, следствием — то избыточное давление воздуха, которое создает диффузор (Т-112). Для начала рассмотрим крайне упрощенную картину — диффузор помещен в небольшую замкнутую камеру и совсем уже напоминает поршень насоса. Чем больше ток в звуковой катушке, тем сильней она втягивается в магнитное поле постоянного магнита, тем дальше выдвигается диффузор и тем, следовательно, больше давление перед ним.

А если поменять направление тока (это обратное направление тока условно считаем отрицательным), то катушка будет выталкиваться из магнитного поля, диффузор уйдет назад и перед ним уже появится разряжение, то есть отрицательное давление.

Т-115. На характеристике «причина — следствие» («ток — давление») громкоговорителя есть линейные и нелинейные участки. С увеличением тока в звуковой катушке диффузор вначале выдвигается вперед (или при отрицательном токе уходит назад) и увеличивает (уменьшает) давление, как говорится, по линейному закону — давление прямо пропорционально току. Но затем давление начинает увеличиваться все медленнее и медленнее, график загибается, идет все более и более полого. Наконец, дело доходит до того, что с увеличением тока диффузор вообще перестает смещаться и давление перед ним остается неизменным. Вот одна из причин этого загиба характеристики — центрирующая шайба все сильнее сопротивляется деформирующей силе и, наконец полностью исчерпав свои запасы эластичности, вообще перестает изгибаться. Здесь самый момент прекратить эксперименты, приостановить дальнейшее увеличение тока. Иначе катушку может просто-напросто вырвать из системы подвеса. Или из-за слишком большого тока она может перегреться и перегореть. Т-115

Самое важное, о чем рассказали наши простейшие мысленные эксперименты с громкоговорителем, так это то, что на его характеристике есть линейные и нелинейные участки (изгибы).

В нашем конкретном примере (Р-72; 9) линейный участок соответствует токам от $-2A$ до $+2A$. За этими пределами, то есть при токах более сильных, чем $+2A$ и $-2A$, характеристика загибается, становится нелинейной. Протяженность линейного участка практически и определяет ту электрическую мощность, которую можно подводить к громкоговорителю, а значит, и мощность излучаемого звука.

Т-116. Совместив график электрического сигнала с характеристикой «ток — давление», можно получить график звука. Сейчас нам предстоит произвести довольно простую операцию — совмещение графиков, рассказывающих о том, что происходит в громкоговорителе. В дальнейшем мы будем часто выполнять точно такие же операции применительно к другим устройствам — трансформаторам, транзисторам, электронным лампам,— и есть смысл на примере громкоговорителя внимательно посмотреть, как это делается, чтобы потом уже не касаться технической стороны дела. Т-116

Будем считать, что в нашем распоряжении есть график электрического сигнала, график, который показывает, как именно меняется ток в звуковой катушке с течением времени. А задача сводится к тому, чтобы узнать, каким будет звуковой сигнал, который создаст громкоговоритель. То есть задача сводится к тому, чтобы построить график этого звукового сигнала, описать его изменение во времени.

За основу берем характеристику «ток — давление» (Р-72; 9. Р-73; 1) — именно она показывает, как зависит давление перед диффузором от тока в звуковой катушке, а значит, именно эта характеристика позволит узнать,

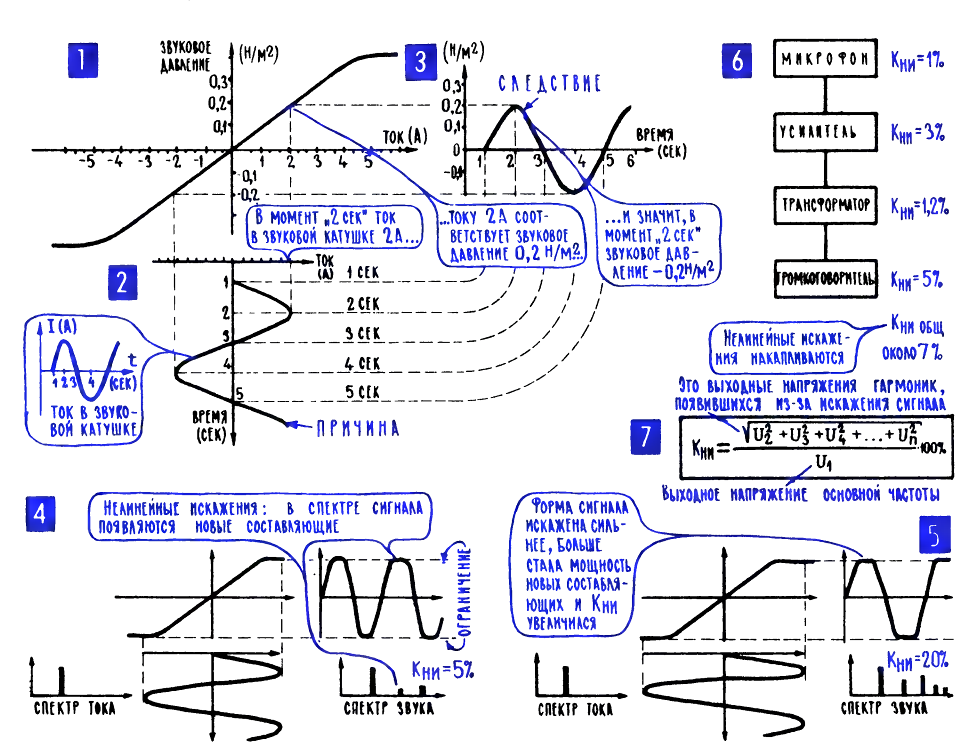
каким будет звуковой сигнал, как будет меняться звуковое давление, если меняется ток.

К характеристике «ток — давление» пристыковываем график тока (Р-73; 2), повернув его, положив его на бок с таким расчетом, чтобы ось тока этого графика совместилась с осью тока на характеристике «ток — давление» (Р-73; 1). Эта операция всего лишь стремление к удобству: теперь мы сможем легко и быстро от одного графика переходить к другому, для этого достаточно провести между ними короткую пунктирную линию.

Отметим, например, что в момент 2 *сек* ток в звуковой катушке равен 2*А*, и тут же перейдем к характеристике «ток — давление», определим, что под действием тока 2*А* громкоговоритель создаст звуковое давление 0,2 $Н/м^2$. И подведем итог — в момент 2 *сек* перед диффузором будет давление 0,2 $Н/м^2$. Отсюда уже остается буквально один шаг до графика звукового сигнала. Пристыковав к характеристике «ток — давление» две перпендикулярные оси (Р-73; 3), будем определять звуковое давление для разных моментов времени и строить график звукового сигнала.

Т-117 **Т-117. Нелинейные искажения: в спектре сигнала появляются посторонние составляющие.** Совмещенные графики — характеристики «ток — давление», график тока и график звука — подробно рассказывают, как создается звуковой сигнал и каким он получается. Говорят они, в частности, о том, что частота звука равна частоте тока, что с увеличением амплитуды тока растет и амплитуда звукового сигнала, что характер изменения звука, форма его графика, в точности повторяет график электрического сигнала (Р-73; 2, 3).

Р-73



Этот последний вывод, однако, справедлив только в случае, если ток не выходит за пределы линейного участка характеристики «ток — давление». Если же ток заходит в область загибов этой характеристики, то прямая пропорциональная зависимость между током и давлением нарушается и график звука уже становится непохожим на график тока (Р-73; 4, 5). Такое искажение сигнала называется нелинейным.

В результате нелинейных искажений в спектре сигнала появляются новые составляющие, в частности новые гармоники, составляющие с частотами, кратными основной частоте (Т-100). Практически мы слышим нелинейные искажения в виде различных посторонних хрипов и скрежетов, звук из-за них становится грязным, хрипловатым. Здесь, правда, все еще зависит от того, насколько далеко ток зашел в нелинейную область характеристики, насколько велики нелинейные искажения.

Т-118. Коэффициент нелинейных искажений показывает, какой процент общей мощности приходится на долю посторонних составляющих. Чтобы оценить, насколько же сильно искажается сигнал, можно просуммировать всю появившуюся «грязь», просуммировать мощность всех новых, никому не нужных составляющих, и посмотреть, каков удельный вес этой мощности в выходном сигнале. Именно об этом и говорит коэффициент нелинейных искажений — $K_{ни}$. Чтобы определить его, на вход устройства (в данном случае речь идет о громкоговорителе, но, как мы скоро увидим, нелинейные искажения могут возникать и в других элементах электронной аппаратуры) подают чистую синусоиду, а на выходе раздельно измеряют мощность этой синусоиды и мощность гармоник, которые появились в результате нелинейных искажений. Определенное соотношение этих мощностей (Р-73; 7), выраженное в процентах, и есть коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$. Чаще $K_{ни}$ выражают не через мощности, а через звуковое давление, от которого, как известно, и зависит мощность звука.

Без лишних рассуждений можно сказать, что, чем меньше $K_{ни}$, тем лучше, тем чище звук. Наше ухо замечает нелинейные искажения уже в 3—5 процентов, а искажения в 8—10 процентов сильно ухудшают качество звучания музыки. При воспроизведении речи $K_{ни}$ может быть несколько больше. К сожалению, если сигнал проходит последовательно несколько устройств (микрофон, линия, громкоговоритель), то нелинейные искажения суммируются. Это, правда, не простая арифметическая сумма, суммирование производится более сложным образом, но во всех случаях чем больше «слагаемые», чем больше искажения на отдельных участках, тем больше и суммарные искажения. Вот почему нелинейные искажения стараются свести к минимуму в любом участке тракта, по которому путешествует сигнал, и часто ведут борьбу не только за каждый процент коэффициента нелинейных искажений, но даже за каждую десятую долю процента.

Нелинейные искажения ограничивают и максимальную громкость звучания громкоговорителя. Он, может быть, мог бы создавать и более мощный звук, но при этом нелинейные искажения были бы недопустимо большими. Мощность была бы получена слишком дорогой ценой. Вот почему, указывая мощность громкоговорителя, часто делают оговорку: «При нелинейных искажениях не более стольких-то процентов». К сожалению, линейные участки характеристики «звук — давление» тоже не идеальны, они тоже имеют некоторую кривизну. И поэтому нелинейные искажения, правда небольшие, возникают во всех режимах работы громкоговорителя. Но, конечно, очень сильные искажения появляются при перегрузке громкоговорителя, когда к нему подводится чрезмерно мощный электрический сигнал.

T-119 **Т-119. Частотные искажения: в спектре сигнала меняются соотношения между отдельными составляющими.** Другой вид искажений формы сигнала, с которым мы встречаемся в громкоговорителе, а затем еще не раз встретимся в других устройствах,— это частотные искажения. Здесь никакие новые составляющие в спектре не появляются, а меняются соотношения между «старыми» составляющими сигнала (Р-74).

Наш слух очень сильно ощущает частотные искажения. Из-за них меняется тембр звука, неузнаваемыми становятся голоса певцов, из оркестра исчезают целые музыкальные инструменты. Если ослабляются составляющие низших частот, то едва слышен барабан, куда-то далеко уходит контрабас, звук становится сухим, резким. А если ослабляются составляющие высших частот, то слабо звучат флейты, скрипки, звук становится глухим, бубнящим, пропадает его чистота и прозрачность.

Откуда появляются частотные искажения? Кто виноват в нарушении пропорций между составляющими спектра? Конечно же, эти искажения могут появиться в некоторых цепях переменного тока, по которым путешествует электрический сигнал. Вспомните, что реактивные элементы — катушка и конденсатор — имеют различное сопротивление на разных частотах (Т-76. Т-78), а значит, эти элементы по самой своей природе будут создавать частотные искажения. И только некоторые особые меры помогают уменьшить эти вредные действия реактивных элементов или даже полностью их компенсировать.

В этом отношении частотные искажения в принципе отличаются от нелинейных. Если в сигнале появились новые гармоники, новые составляющие, то полностью избавиться от них уже невозможно. А вот если какой-либо участок тракта создает частотные искажения, то на другом участке их можно искусственно скомпенсировать, поднять чрезмерно ослабленные составляющие. Это, кстати, делают с помощью все тех же реактивных элементов, чаще всего с помощью определенным образом подобранных конденсаторов. И получается, что в одном месте реактивные элементы создают частотные искажения, а в другом месте специально введенные другие реактивные элементы (элементы коррекции) уменьшают эти искажения. Таковы самые общие, самые предварительные замечания. О том, как все происходит в конкретных электрических цепях, — речь впереди (Т-199).

T-120 **Т-120. Частотная характеристика громкоговорителя показывает, насколько хорошо он преобразует ток в звук на разных частотах.** С частотными характеристиками мы уже встречались, когда пытались выяснить, как ведут себя те или иные элементы электрической цепи при изменении частоты переменного тока (Т-80). Для того чтобы получить частотную характеристику громкоговорителя, нужно подвести к нему переменное напряжение, менять частоту этого напряжения (поддерживая все время одинаковой его амплитуду, число вольт) и одновременно измерять звуковое давление (Р-74; 1). Желаемая частотная характеристика громкоговорителя — прямая линия, она говорит о том, что громкоговоритель будет одинаково хорошо преобразовывать ток в звук на всех частотах. Пусть даже не на всех. На всех, пожалуй, и не нужно, идеальным вполне можно было бы назвать громкоговоритель, если бы его частотная характеристика была прямой в диапазоне примерно от 20 *Гц* до 20 *кГц*, то есть в том диапазоне, в котором слышит человеческое ухо.

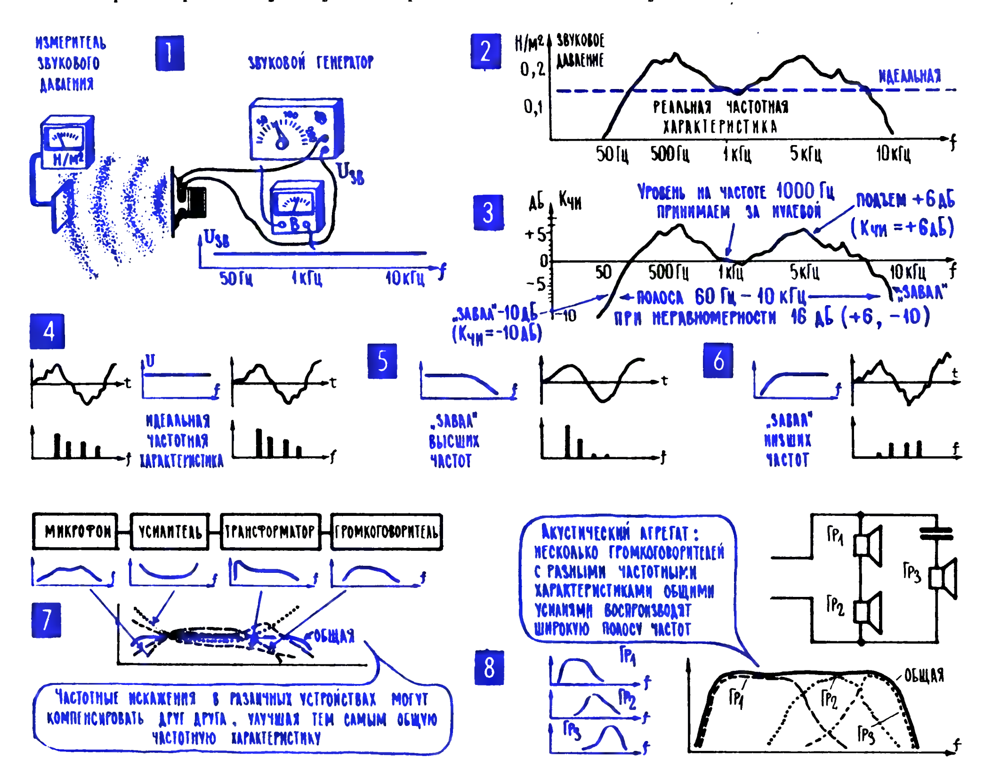
Однако же таких громкоговорителей, к сожалению, не бывает.

Одна из причин частотных искажений в громкоговорителе — сама звуковая катушка. С частотой ее индуктивное сопротивление растет, ток в ка-

тушке падает, а значит, она слабее взаимодействует с внешним магнитным полем. Но это далеко не самое страшное. В громкоговорителе есть механические колебательные системы, напоминающие гитарную струну. Это прежде всего сам диффузор, который, как и струна, обладает определенной массой и упругостью. Колебательные системы громкоговорителя, как и любые колебательные системы, на определенных частотах резонируют, и из-за этого на частотной характеристике появляются острые выбросы «пиков». Но и это еще не все.

Частотные характеристики громкоговорителя с большим диффузором имеют понижение, или, как принято говорить, завал, в области высших частот (С-13) — за счет большой инерции большому диффузору, захватывающему большие объемы воздуха, с увеличением частоты все труднее следовать за изменениями тока. Но зато громкоговорители с большим диаметром диффузора хорошо воспроизводят низшие звуковые частоты, и их так и называют низкочастотными. А маленькие диффузоры, наоборот, легко двигаются на высших частотах, но плохо излучают на низших, за что их и называют высокочастотными. Есть громкоговорители универсальные, они удовлетворительно воспроизводят и весьма высокие частоты, и довольно низкие. Однако же если хотят воспроизвести очень широкую полосу звуковых частот, то создают акустические агрегаты, куда входят и низкочастотные громкоговорители, и высокочастотные (Р-74; 8).

Частотная характеристика громкоговорителя должна представлять собой график зависимости звукового давления (или силы звука) от частоты переменного напряжения, которое подводится к звуковой катушке. Но часто характеристику эту изображают иначе. Звуковое давление на неко-



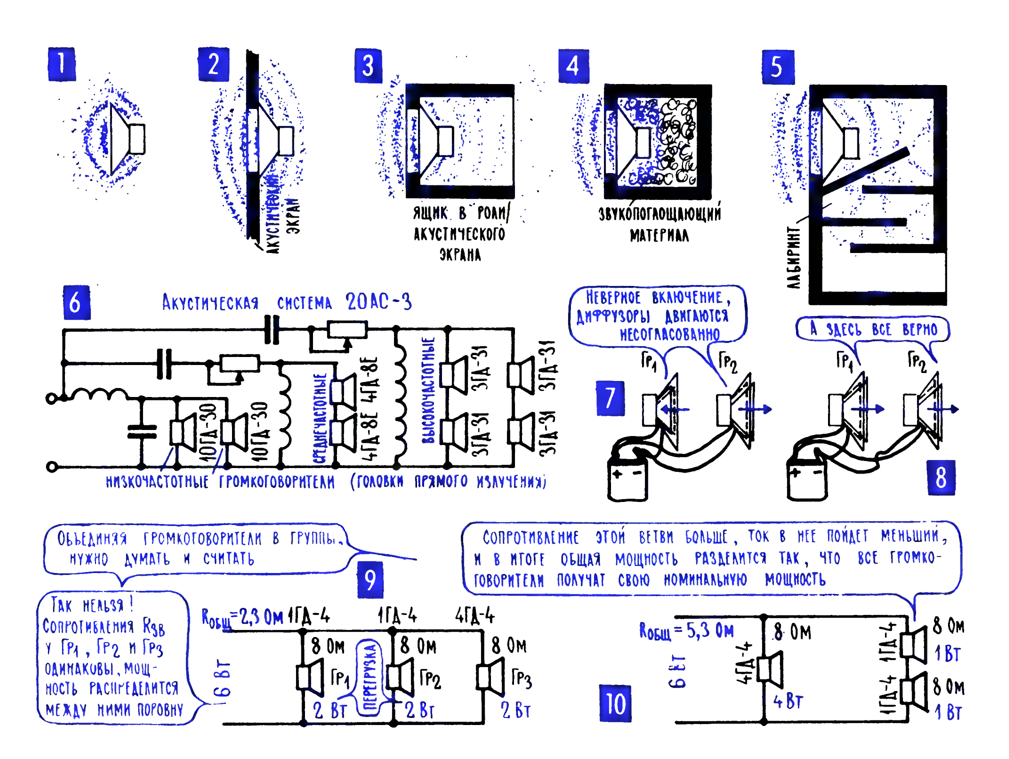
торой частоте, обычно на частоте 1000 *Гц*, принимают за единицу и на частотной характеристике показывают лишь изменения силы звука (звукового давления) по отношению к этой средней величине. Возле вертикальной оси ставят букву K или $K_{чи}$, обозначая таким образом коэффициент частотных искажений — он показывает, на сколько децибел (во сколько раз) звуковое давление на данной частоте больше (положительный $K_{чи}$) или меньше (отрицательный $K_{чи}$), чем на средней частоте 1000 *Гц* (Р-74; 3). У идеального громкоговорителя звуковое давление на всех частотах одинаково, а значит, $K_{чи}$ всегда равен нулю, частотных искажений нет.

Т-121 **Т-121. Акустический экран препятствует завалу низших звуковых частот.** Когда диффузор движется вперед, он создает перед собой область сжатия, а позади — область разрежения. Во время обратного движения диффузора область сжатия появляется с тыльной стороны громкоговорителя, а впереди него — область разрежения. Иными словами, громкоговоритель одновременно излучает две звуковые волны (Р-75; 1), причем сдвинутые по фазе на полпериода, на 180°. И если обе эти волны одновременно придут к нашему уху, то мы вообще ничего не услышим — противофазные волны просто скомпенсируют друг друга. В реальном случае полного взаимного «пожирания» звуковых волн не происходит (хотя бы потому, что диффузор вперед излучает эффективнее, чем назад), но ослабить друг друга они могут весьма заметно. Причем главным образом в области низших частот.

Дело в том, что звуковая волна, которую создает тыльная, задняя поверхность диффузора, приходит к слушателю путем несколько более длинным, чем основная волна, и появляется некоторый дополнительный сдвиг фаз между этими звуковыми волнами. На высших звуковых частотах, которым соответствуют более короткие волны, даже небольшой разницы в путях от диффузора до уха достаточно, чтобы в прошлом противофазные волны пришли к станции своего назначения — к уху — в полном согласии, в фазе. А вот на самых низших частотах и даже на средних частотах дополнительный сдвиг фаз получается небольшим и звук заметно ослабляется. Способ борьбы с этой довольно-таки серьезной неприятностью напрашивается сам собой: нужно просто удлинить путь, по которому «задняя» звуковая волна идет к уху. Иногда это делают с помощью акустического экрана (Р-75; 2) — достаточно толстой (10—20 *мм*) доски фанеры, деревянной доски или древесно-стружечной плиты.

Т-122 **Т-122. Корпус (ящик) — важный элемент акустических установок.** Если когда-нибудь вам придется конструировать приемник или радиолу, то проделайте простой эксперимент: сначала послушайте громкоговоритель, не вставляя его в ящик, на весу, а затем вставьте громкоговоритель в ящик и послушайте его еще раз. Вы наверняка отметите огромную разницу в звучании: «голый» громкоговоритель звучит значительно тише, средние и особенно низшие частоты сильно завалены, их почти не слышно.

Деревянный ящик — это не просто декоративная деталь, он сильно влияет на качество звучания, причем сразу несколькими «рычагами». Во-первых, он выполняет роль акустического экрана (Р-75; 3). Во-вторых, ящику передаются колебания диффузора, и он сам превращается в излучатель звука. Излучатель довольно большой, а значит, увеличивающий звуковую мощность, особенно в самой трудной области — на низших звуковых частотах. Вот почему, конструируя ящики для акустических агрегатов, думают не только о красоте форм или о внешней отделке. Главное внимание



обращается на то, как использовать ящик для улучшения качества звучания, в частности для выравнивания частотной характеристики.

Есть несколько приемов формирования необходимых акустических характеристик ящика. Один из них — размещение громкоговорителей не только на передней стенке, но и на боковых. Это улучшает диаграмму направленности акустического агрегата, он более равномерно излучает звук во всех направлениях, создает ощущение объемного звучания. В некоторых случаях ящик заполняют звукопоглотителем, например ватой или стеклянной ватой, и этим несколько ослабляют неприятные резонансные явления в системе громкоговоритель — ящик.

Для подъема частотной характеристики в области низших частот в ящике делают специально рассчитанные акустические лабиринты и фазоинверторы (Р-75; 5) — устройства, которые определенным образом поворачивают фазу звуковой волны, создают условия для складывания, суммирования звуков, излучаемых разными участками акустического агрегата.

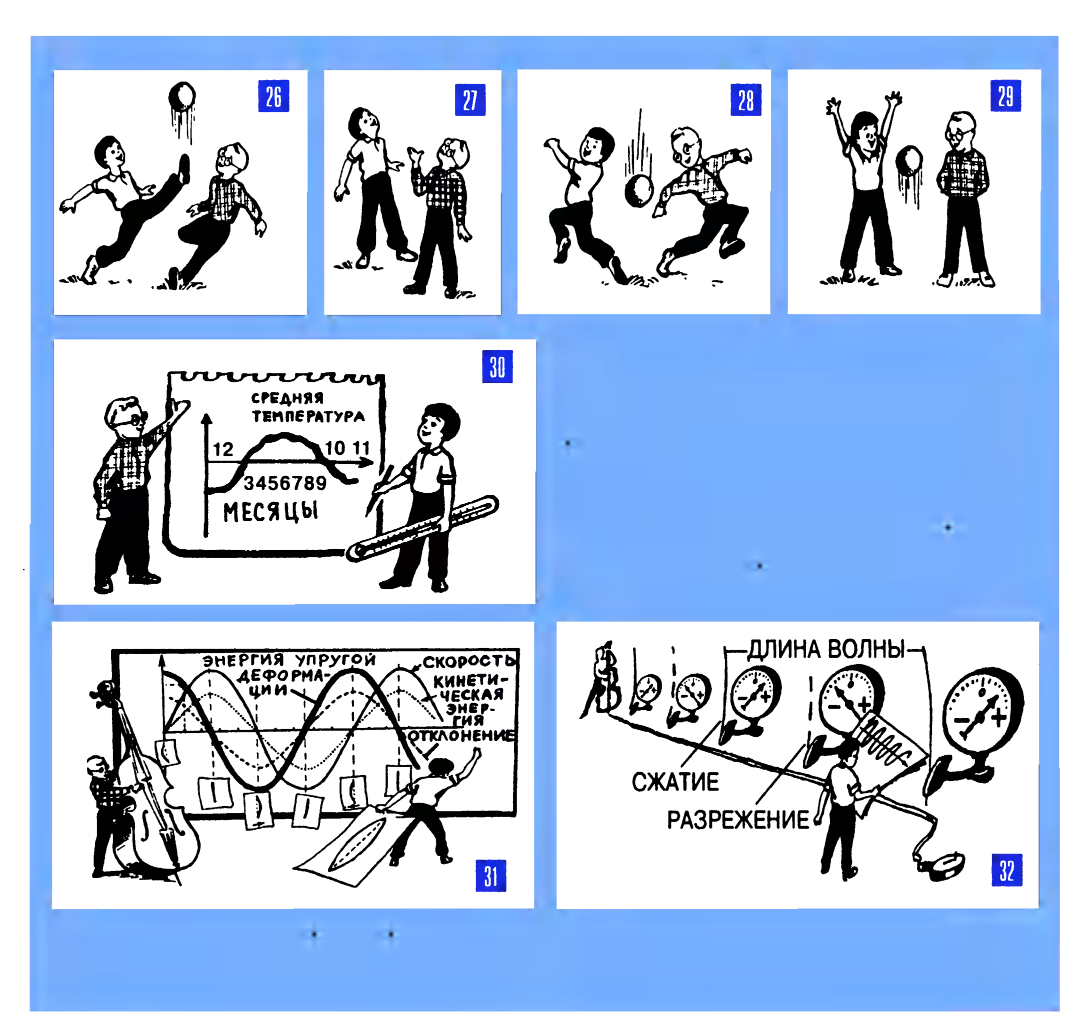
На Р-75; 6, 10 приведены типичные схемы акустических агрегатов. Такие агрегаты, или, как их чаще называют, звуковые колонки, рассчитаны на разные типы громкоговорителей, на разную подводимую мощность. В зависимости от способов соединения громкоговорителей может быть различным и их общее сопротивление (Р-75; 9, 10). Кстати, соединяя громкоговорители в группы, нужно их фазировать — нужно, чтобы все диффузоры одновременно двигались в одну и ту же сторону. Фазировку проще всего осуществить с помощью гальванического элемента, наблюдая, куда смещается диффузор (Р-74; 7, 8).

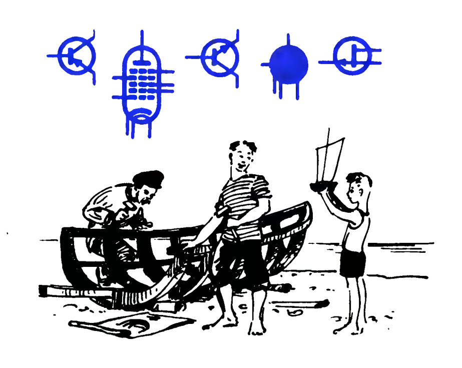
Мощности, указанные на Р-74; 9, 10, дают нам повод (таких поводов, правда, и раньше было довольно много) задуматься над проблемой, которая неизбежно ведет к следующей главе. Для создания достаточно громко-

го звука нужен электрический сигнал мощностью в несколько ватт, а то и в несколько десятков ватт.

А теперь попробуем подсчитать мощность, которую могут обеспечить наши главные поставщики электрической копии звука — микрофоны. Даже сравнительно громким звукам (60 дБ) соответствует мощность звуковой волны всего 0,000001 Вт/м^2 = 10^{-6} Вт/м^2. Если предположить, что площадь воспринимающей части микрофона составляет 10 см^2 (10^{-3} м^2), то окажется, что микрофон получает от звуковой волны всего 10^{-9} Вт, то есть одну миллиардную ватта. Это — мощность звука, который поступает в микрофон, а мощность электрического сигнала на его выходе еще во много раз меньше — коэффициент полезного действия микрофона всего несколько процентов.

Из этого можно сделать только один вывод. На пути от устройства, где рождается электрическая копия звука, до устройства, где электрический сигнал создает звук, необходим еще один элемент — усилитель.





ГЛАВА 9

СОЗДАНИЕ МОЩНОЙ КОПИИ

Т-123. Одна из самых распространенных операций с электрическими сигналами — их усиление. Всякое электронное устройство — это своеобразный мир электрических сигналов. Здесь они зарождаются и умирают, сюда сигналы приходят из других устройств, из других электронных миров, чтобы, пробежав по многочисленным электрическим цепям, претерпев множество самых удивительных превращений, обернуться прекрасной мелодией, красочной картинкой на телевизионном экране или включением тормозного двигателя на космическом корабле. Т-123

Одна из самых распространенных операций с электрическими сигналами — это их усиление. Сигналы приходится усиливать из-за того, что тем или иным электронным устройствам для их нормальной работы нужны сигналы значительно более мощные, чем имеются в наличии.

Один пример мы уже упоминали (Т-122) — мощность электрических сигналов на выходе микрофона менее миллиардных долей ватта, а громкоговорителю требуются ватты. Такие же примеры можно найти в магнитофоне и электропроигрывателе, где после считывания записи с пленки или с пластинки появляются чрезвычайно слабые электрические сигналы. Еще пример: к антенне приемника радиоволны приносят электрический сигнал в тысячные доли микроватта, а громкоговорителю нужны все те же ватты. И в телевизоре мощность сигнала нужно увеличить в миллиарды раз, чтобы можно было нарисовать картинку на экране. Усиление необходимо во многих устройствах автоматики и телеуправления, в таких, например, как автоматический контролер метро, который по слабенькому сигналу от фотоэлемента с силой выталкивает заградительные рычаги, если вы, задумавшись, забыли опустить пятачок.

Коротко говоря, электрический сигнал приходится усиливать во всех случаях, когда появляется несоответствие между «нужно» и «есть». А это несоответствие в электронных системах сбора, передачи, хранения и переработки информации наблюдается очень часто.

Т-124. Усилить электрический сигнал — это значит создать точно такой же по характеру изменения сигнал, но большей мощности. Начнем с примера, который не имеет никакого отношения к электронным схемам, но зато помогает легко понять, в каком именно смысле применяется слово «усиление», когда речь идет об электрических сигналах. Т-124

С некоторого времени знаменитая футбольная команда «Гювейч» из города N неожиданно для всей спортивной общественности начала вписывать в турнирную таблицу один ноль за другим. И болельщики только о том и говорят, как усилить любимую команду, как улучшить ее игру. Из всех высказанных предложений остановимся на двух.

Первое предложение. Резко увеличить время тренировок и занятий по тактике футбола. Улучшить питание футболистов, условия их отдыха. Результат — команда играет лучше, сильнее, происходит усиление команды.

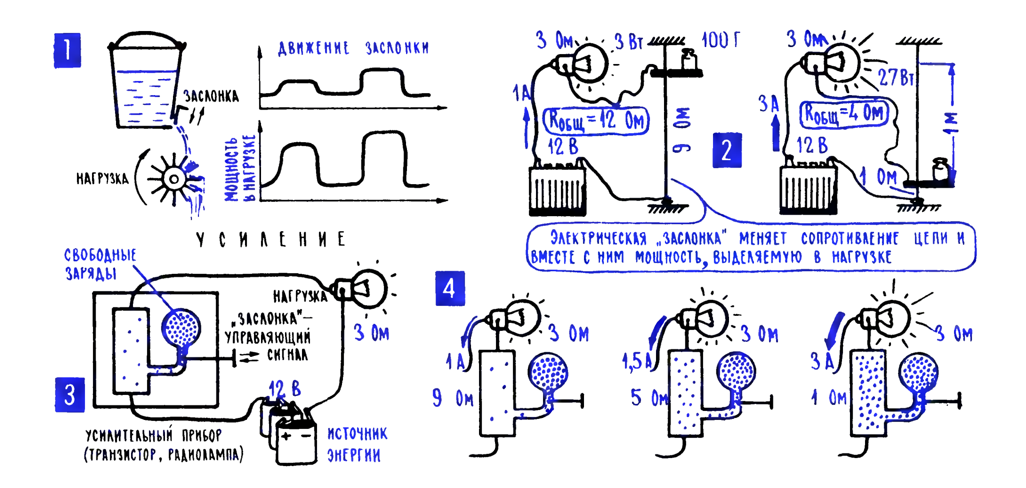
Второе предложение. Тренера сменить. Команду расформировать, пригласить новых, более сильных игроков. Результат — команда играет лучше, сильнее, произошло усиление команды. Но, может быть, в этом случае правильнее было бы говорить не об усилении, а о замене? Нет, нет и нет — отвечают болельщики. Замена игроков — это мелочь, второстепенная деталь. Главное в том, что команда с тем же названием «Гювейч», выступающая в той же форме (оранжевые майки, фиолетовые трусы), защищающая футбольную честь того же прекрасного города N и пока занимающая в турнирной таблице все то же последнее место, стала играть лучше. А значит, произошло не что иное, как усиление команды. Примерно такой смысл имеет слово «усиление» в радиоэлектронике. При усилении слабого электрического сигнала с помощью дополнительных источников энергии создается новый мощный сигнал, который, однако, сохраняет главную особенность слабого — характер изменения, форму графика. Иными словами, усиление слабого электрического сигнала — это создание его мощной копии.

Т-125 **Т-125. Усилители — большой класс систем, в которых слабое, маломощное воздействие управляет мощными потоками энергии.** Давайте просверлим в нижней части ведра небольшое отверстие (это вполне может быть мысленный эксперимент, то, что в нем должно произойти, легко увидеть силой воображения, и наносить ущерб хозяйству, делая дырку в ведре, совсем не обязательно), наполним ведро водой и подставим под струю небольшую вертушку с лопастями, некоторое подобие рабочего колеса водяной мельницы (Р-76; 1). Вначале, когда воды в ведре много, из отверстия вырывается довольно сильная струя, колесо вращается быстро. По мере того как уровень воды падает, струя становится все более вялой и вращение колеса замедляется. Это нормальный процесс передачи энергии: потенциальная энергия поднятой на высоту воды переходит в кинетическую энергию струи, а она в свою очередь передается колесу-вертушке. Если не думать о потерях, то можно сказать, что сколько дает источник энергии (вода в ведре), столько и получает потребитель (вертушка). И на сколько уменьшится или увеличится энергия, которую поставляет источник, на столько же уменьшится или увеличится и энергия, получаемая потребителем.

А теперь на пути воды поставим заслонку и, двигая ее вперед-назад, будем менять поток воды. Казалось бы, в самом процессе передачи энергии не произошло никаких изменений: кто давал энергию, тот и дает, кто получал, тот получает, сколько энергии было отдано, столько и получено. Но в действительности заслонка внесла в эту систему нечто принципиально новое: легким движением руки перемещая заслонку, можно значительно менять интенсивность потока воды. Образно говоря, затрачивая микроватты, можно менять мощность потока на целые ватты. И вывод: с помощью заслонки мы и создали усилитель, создали систему, в которой слабое воздействие управляет мощными потоками энергии.

Усилительные системы чрезвычайно распространены в природе, в технике их роль тоже очень велика и, может быть, даже еще до конца не осознана. Вот лишь несколько примеров, показывающих, что могут механические, гидравлические, химические, биологические, экономические и разные прочие усилители.

Легкое дуновение ветра лишь слегка подтолкнуло огромную скальную глыбу, нависшую над краем пропасти, глыба пошла под откос, перегородила



горный поток, заставила его изменить русло и постепенно смыть огромную гору.

Небольшое количество катализатора, введенного в химический реактор, резко изменило ход химических процессов, во много раз ускорило превращение одних веществ в другие.

Разумные указания консультанта-технолога позволили лучше использовать производственные мощности завода и увеличить выпуск продукции на сумму, во много раз превышающую зарплату консультанта.

Вирус, попав на командный пункт живой клетки, заставил ее так изменить свою работу, что клетка начала сама огромными тиражами выпускать вирусы.

Все эти примеры не более чем информация к размышлению. А вот следующий пример, который представлен в виде привычного уже мысленного эксперимента, открывает прямой путь к настоящим усилителям электрических сигналов.

События разворачиваются в простейшей электрической цепи, в которую входит источник энергии — аккумулятор, нагрузка — лампочка и еще переменный резистор — реостат, выполненный в виде вертикально натянутой проволоки со скользящим контактом (Р-76; 2). Подвижный контакт этот ходит по проволоке настолько легко, что если подвесить к нему стограммовую гирьку, то контакт буквально за секунду переместится сверху вниз, изменив сопротивление реостата от 9 *Ом* до 1 *Ом*.

А сейчас мы выполним несколько простейших арифметических операций, и они приведут нас к выводу, важнейшему для всей электроники.

Для начала вспомним про две расчетные формулы: $I = U : R$ и $P = I^2R$ (Р-22; 3 и Р-27; 2). Согласно этим формулам, напишем два выражения — для тока в цепи лампочки: $I_л = U_г : (R_л + R_р)$ (он определяется суммой двух сопротивлений — лампочки $R_л$ и реостата $R_р$) и для мощности, которая выделяется в лампочке, $P_л = I_л^2 \cdot R_л$. Теперь, пользуясь этими выражениями, подсчитаем ток в цепи и мощность, выделяемую в лампочке, для двух случаев — когда сопротивление реостата равно 9 *Ом* и когда оно равно 1 *Ом*, после того как движок реостата опустился вниз. Вот результаты этих несложных расчетов (сопротивление лампочки — 3 *Ом*).

В случае, когда $R_р = 9$ *Ом* (движок вверху), получим: ток $I_л = 12$ *В* : : 3 *Ом* + 9 *Ом*) = 1 *А* и мощность $P_л = 1^2 A \cdot 3$ *Ом* = 3 *Вт*. В случае, когда

$R_л = 1$ *Ом* (движок внизу), получим: ток $I = 12$ *Вт* : (3 *Ом* + 1 *Ом*) = 3 *А* и мощность $P_л = 3^2 A \cdot 3$ *Ом* = 27 *Вт*.

И наконец, последняя арифметическая операция. Теперь нетрудно подсчитать, что мощность 1 *Вт*, затраченная на перемещение подвижного контакта (100 *г* · 1 *м* = 1 *Дж*; 1 *Дж*/1 *сек* = 1 *Вт*), приводит к изменению электрической мощности, которую получает нагрузка, лампочка на 24 *Вт* (от 3 до 27 *Вт*), и это можно назвать эффектом усиления: за изменение на 1 *Вт* мы получили изменение на 24 *Вт*.

Управляющий сигнал — перемещение движка реостата — сам ничего нагрузке не добавил и не убавил. Всю энергию лампочка получает только от аккумулятора. А эффект усиления появился только потому, что на одном перекрестке встретились, сошлись в одном физическом процессе два совершенно разных явления, две различные зависимости, до этого не знавшие друг друга, не имевшие друг к другу никакого отношения,— зависимость сопротивления реостата от положения движка и зависимость тока в цепи от сопротивления реостата. Такие пересечения физических процессов, такие пары зависимостей в природе образуются как бы сами собой, зачастую совершенно случайно. С одним примером мы уже знакомы: каменная глыба, если незначительно сдвинуть ее, падает с обрыва, совершая при этом огромную разрушительную работу, и даже легкий порыв ветра может произвести небольшое начальное перемещение глыбы, столкнув ее с обрыва.

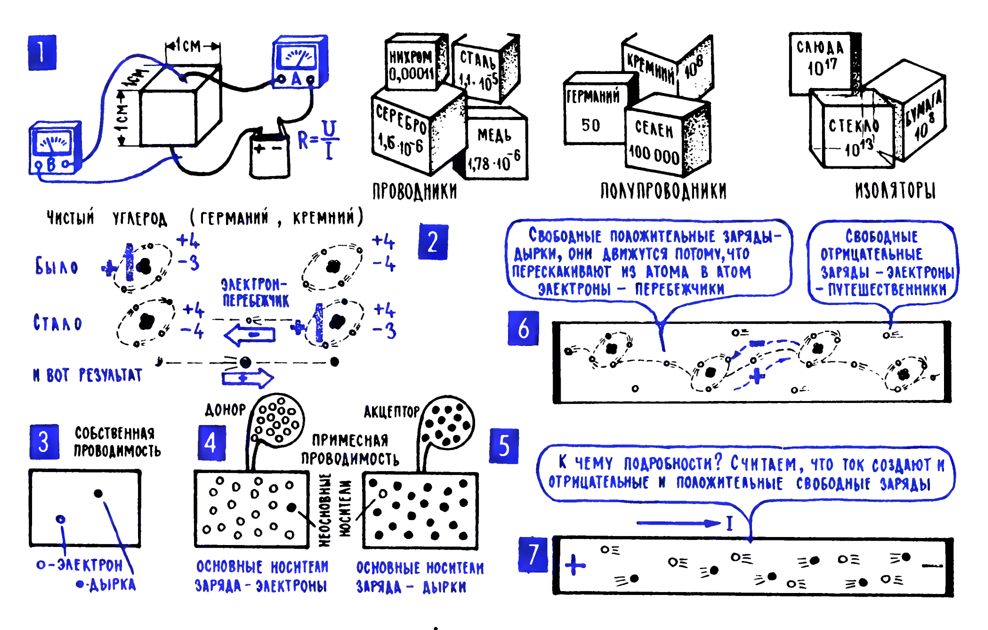
В технике искусственно объединяют два разных независимых физических процесса, подбирают эти пары «пересекающихся» процессов таким образом, чтобы один из них сильно влиял на другой, чтобы можно было получить эффект усиления. Лучшим примером является усилитель электрических сигналов, до которого нам теперь остался уже буквально один шаг.

Т-126

Т-126. Распространенный тип усилителей электрических сигналов — слабый сигнал меняет сопротивление цепи, в которой действует мощный источник энергии. Чтобы усилить электрический сигнал, в разных типах усилителей объединяют парами самые разные физические процессы. В наиболее распространенных усилительных приборах — транзисторах и электронных лампах — используют такой принцип: слабый усиливаемый сигнал тем или иным способом меняет сопротивление цепи, в которой внешний источник энергии, например аккумулятор или гальванический элемент, создает постоянный ток. Под действием меняющегося сопротивления постоянный ток перестает быть постоянным, он меняется, следуя за всеми изменениями слабого сигнала. Так за счет энергии внешнего источника создается мощный сигнал, точная копия слабого.

Реализовать этот принцип можно даже в нашей установке с реостатом, для этого нужно соорудить для подвижного контакта реостата систему электрического привода. Скажем, приводить в движение подвижный контакт миниатюрным электромоторчиком или электромагнитом, энергию которым давал бы сам усиливаемый сигнал. В электронных усилителях этот принцип реализуют так: сопротивление участка цепи меняют, «впрыскивая» в него то или иное количество свободных электрических зарядов (Р-76; 3, 4). На само это «впрыскивание» тратится сравнительно небольшая мощность, а сопротивление меняется так, что происходит значительное изменение мощности, выделяемой на данном участке цепи.

Если вы помните, сама характеристика «сопротивление» говорит о том, легко или трудно генератору создавать ток в проводнике (Т-23). Чем больше в проводнике свободных зарядов, чем они подвижнее, тем более массовым будет упорядоченное движение зарядов под действием электродвижущей



силы, тем больше будет ток. Иными словами, чем больше в проводнике свободных зарядов, чем они подвижнее, тем меньше сопротивление этого проводника. В электронных усилителях роль такого проводника с меняющимся сопротивлением выполняет сам усилительный прибор — электронная лампа или транзистор.

Слабый усиливаемый сигнал подводится к лампе или транзистору и управляет имеющейся там своего рода «заслонкой», которая увеличивает или уменьшает количество свободных зарядов, создающих электрический ток, то есть фактически меняет сопротивление приборов (Р-76; 3, 4). Мы начнем с того, что посмотрим, как работает такая «заслонка» в транзисторе, как слабый сигнал меняет сопротивление этого усилительного прибора, меняет ток в его цепи. Но до этого нам еще предстоит провести кое-какую подготовительную работу. В частности, познакомиться с некоторыми процессами в полупроводниках.

Т-127. Германий и кремний — химические элементы углеродной группы, атомы которых образуют алмазоподобную кристаллическую структуру. Т-127
Как уже говорилось (Т-18), из всех электронных орбит атома нас прежде всего интересует внешняя, на которой может находиться до восьми электронов. Напомним, что фактически у каждого электрона своя собственная орбита и правильнее говорить не об одной внешней орбите, а о внешнем электронном слое, в котором может быть до восьми орбит. Но в соответствии с Т-8 мы идем на сильное упрощение и считаем, что все электроны того или иного электронного слоя бегают по одной общей дорожке. Этот особый интерес к внешней орбите имеет несколько причин. Во-первых, именно внешние электроны могут уходить из атома, свободно блуждать в межатомном пространстве, при случае включаясь в электрический ток. Во-вторых, именно внешние электронные орбиты участвуют в «сшивании» атомов, в создании молекул. И наконец, на внешних электронных орбитах происходят некоторые события, в результате которых и появляются полупроводниковые усилительные приборы — транзисторы.

Итак, на внешней орбите атома может быть до восьми электронов.

И вот что очень важно: атом всегда стремится к этой восьмерке, к тому, чтобы его внешняя орбита была заселена, чтобы число электронов в ней было доведено до возможного разрешенного максимума. И если на внешней орбите меньше восьми электронов, то атом при первом же удобном случае стремится притянуть к себе чужой электрон. Причем обязательно вместе с чужим атомом. (Еще раз напоминаем: чтобы правильно понять выражения «сшивание атомов», «атом стремится», «электроны бегают» и другие подобные, необходимо ознакомиться с разделом Т-8.)

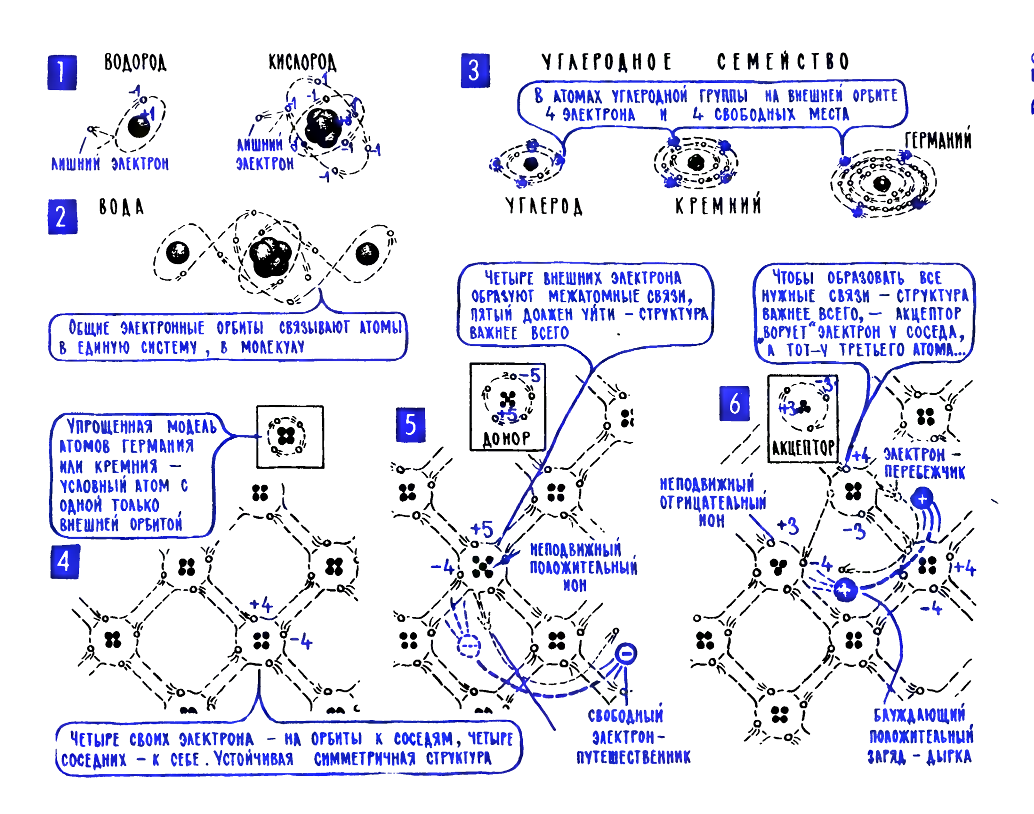
Но зачем же, спросите вы, тащить к себе на орбиту электрон вместе с атомом, когда вокруг бегают свободные электроны? А дело в том, что атом в целом — нейтральная система, суммарный отрицательный заряд электронов равен положительному заряду ядра. Вся эта система точно подогнана, крепко связана электрическими силами и ни на какие лишние детали не рассчитана. В большинстве случаев просто нет у атома тех сил, которые могли бы удержать на внешней орбите лишний электрон. И, попав на эту орбиту, лишний электрон очень быстро слетает с нее (Р-78; 1), несмотря на все «желание» атома иметь восьмерку, иметь заполненную внешнюю орбиту (не забывайте о Т-8).

Другое дело, если место на внешней орбите займет электрон, который одновременно вращается по своей собственной орбите в своем собственном атоме. В этом случае возникнет некая объединенная орбита, она проходит через оба атома и крепко стягивает, связывает их друг с другом (Р-78; 2). Появление лишнего электрона на орбите теперь уже не нарушит электрического равновесия, не встретит какого-либо противодействия. Создание объединенных орбит — это основное средство сшивания атомов в молекулы и один из важных способов объединения молекул в сложные химические соединения.

Среди всех известных типов атомов совершенно особое место занимает углерод. Достаточно сказать, что изучением углеродных соединений занимается самый большой раздел химии — органическая химия. И число таких соединений исчисляется сотнями тысяч, составляет бóльшую часть всех известных химических соединений.

Многообразие устойчивых соединений углерода связано с тем, что у него на внешней орбите — четыре электрона и четыре свободных места, которые нужно заполнить для получения восьмерки (Р-78; 3). Благодаря такой своеобразной симметрии на основе углерода рождаются изумительные архитектурные шедевры, к числу которых относятся и все молекулы живой природы. Самое прочное, самое устойчивое углеродное сооружение — кристалл алмаза. Здесь каждый атом углерода отдает четыре внешних электрона четырем соседям и четыре электрона получает от них, по одному от каждого соседнего атома. И тот электрон, который получает внешняя орбита, и тот, что она отдает, становятся общими для обоих атомов — отдающего и получающего. Поэтому на внешней орбите каждого атома вращается заветная восьмерка — четыре своих электрона и четыре соседних. Для простоты на Р-78; 4 алмазоподобная структура показана на примере некоторого условного атома углеродного семейства, у которого одна только внешняя орбита с четырьмя электронами и четыре протона в ядре.

Существуют и другие химические элементы с четырьмя электронами на внешней орбите. К их числу относятся полупроводники германий и кремний (Р-78; 3), атомы которых устанавливают такие же связи, как углерод в алмазе (четыре даю, четыре получаю), и образуют алмазоподобную кристаллическую структуру.



Т-128. Германий и кремний — полупроводники, в которых имеются свободные электроны и свободные положительные заряды (дырки). Электрические свойства того или иного материала часто оценивают так: вырезают из этого материала кубик со стороной 1 *см* и измеряют его электрическое сопротивление (Р-77; 1). Эту величину называют *удельным сопротивлением* (С-3, Т-35), единица его измерения — *Ом/см* (здесь отражено то, что сторона кубика 1 *см*). Удельное сопротивление нихрома, одного из самых скверных проводников,— 0,00011 *Ом/см* (серебра — почти в сто раз меньше). А удельное сопротивление бумаги, одного из самых скверных изоляторов,— примерно 100 000 000 *Ом/см* (фарфора — в миллион раз больше). Вещества, которые находятся в промежутке между этими самыми сопротивляющимися проводниками и самыми проводящими изоляторами, называют полупроводниками, хотя с таким же успехом их можно было бы называть и полуизоляторами.

Кристаллы германия и кремния тоже относятся к числу полупроводников: удельное сопротивление первого — примерно 50 *Ом/см,* второго — 1 000 000 *Ом/см.* При температуре абсолютного нуля (—273,2 °С) германий и кремний — идеальные изоляторы. Но как только температура несколько повышается, тут же из-за тепловых колебаний атомов с некоторых внешних орбит выскакивают электроны и уходят в межатомное пространство. Атомов, не сумевших удержать на месте свои электроны, относительно немного, иначе вместо полупроводника мы имели бы просто проводник. В германии, например, при комнатной температуре появляется лишь один свободный электрон на миллиард атомов, в кремнии свободных электронов во много раз меньше.

Под действием электрического напряжения свободные электроны, блуждающие в межатомном пространстве, сразу же включаются в электрический ток, упорядоченно смещаются от «минуса» к «плюсу». Как принято говорить, свободные электроны создают *n*-проводимость (*n* — первая буква слова negativus — отрицательный; этим словом подчеркивается, что ток создают свободные отрицательные заряды, электроны).

Выскочив на свободу, электрон превратил свой до этого нейтральный атом в положительный ион (Р-77; 2) — раз в атоме не хватает электрона, значит, его суммарный положительный заряд больше отрицательного (Т-19). Такой атом сдвинуться с места не может, он прочно закреплен в кристаллической решетке. И долго, казалось бы, должен стоять на месте этот одинокий положительный ион, дожидаясь, пока какой-нибудь электрон-путешественник случайно наткнется на пустующее место во внешней орбите, вернет атом в состояние электрического равновесия.

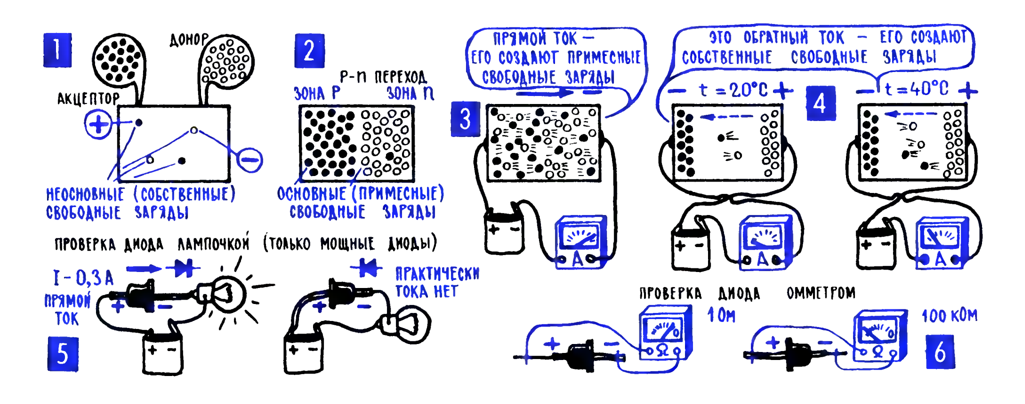
И вот здесь на сцене появляется еще одно действующее лицо, которое так и хочется назвать электроном-перебежчиком. Это электрон из соседнего атома. Он быстро и легко перескакивает на пустующее рядом с ним место, превращает положительный ион в нейтральный атом, а свой собственный атом — в положительный ион. И если отвлечься от второстепенных подробностей, то можно считать, что произошло перемещение положительного иона, хотя все атомы и остались на месте.

Положительный заряд атома, который появляется из-за того, что на внешней орбите не хватает электрона, называют «дыркой». В полупроводниках дырки ведут себя подобно свободным электронам — они хаотически перемещаются по кристаллу, а под действием приложенного напряжения сразу же включаются в электрический ток, упорядоченно смещаются, но уже, конечно, от «плюса» к «минусу» (Р-77; 2, 6). Как принято говорить, дырки создают в полупроводнике *p* — проводимость (*p* — первая буква слова positivus — положительный; этим подчеркивается, что ток создают свободные положительные заряды, дырки).

В чистом, натуральном полупроводнике число свободных электронов и свободных дырок одинаково, в этих полупроводниках в равной мере существует электронная и дырочная проводимость. Но с помощью определенных примесей можно нарушить это равенство и создать полупроводники с сильным преобладанием электронной или дырочной проводимости, полупроводники *n*-типа и *p*-типа.

Т-129 **Т-129. Донорная примесь резко увеличивает число свободных электронов, создает *n*-проводимость.** Алмазоподобные кристаллы отличаются весьма устойчивой структурой, в них трудно нарушить красивую симметричную систему межатомных связей. Образно говоря, в алмазоподобных кристаллах действует правило: «Структура важнее всего».

Представьте себе, что в расплавленный германий или кремний во время их кристаллизации вводят небольшое количество мышьяка, у атомов которого на внешней орбите пять электронов (Р-78; 5). Атом мышьяка займет место в кристаллической решетке — а куда ему еще деваться! — но при этом он вынужден будет выбросить со своей внешней орбиты один электрон. Потому что алмазоподобная структура требует, чтобы каждый атом установил связь только с четырьмя соседями — структура важнее всего. Таким образом, с добавлением мышьяка в кристаллической решетке появится некоторое количество неподвижных положительных ионов — атомов мышьяка с недостающими электронами, а в межатомном пространстве при этом, естественно, появится такое же количество свободных электронов. Германий (кремний) превратится в полупроводник *n*-типа.



Р-79

Мышьяк и другие примеси, благодаря которым в полупроводнике появляется заметное количество свободных электронов, называют *донорами* (дающими), имея в виду, что они как бы отдают полупроводнику свои электроны, создают в нем электронную проводимость.

Т-130. Акцепторная примесь резко увеличивает количество дырок, создает *p*-проводимость. А теперь добавим в германий или кремний некоторое количество индия, в атомах которого на внешней орбите всего три электрона (Р-78; 6). Индий, как и мышьяк, займет место в кристаллической решетке, ему тоже больше некуда деваться. И индий тоже должен установить связь с четырьмя своими соседями. Поэтому при первой же возможности атом индия заберет у соседнего атома германия (кремния) один электрон, добавит к своим трем и превратится при этом в отрицательный ион. А атом германия, у которого индий увел электрон, станет обычной дыркой. Таким образом, с добавлением индия в германий (кремний) в нем появится некоторое количество неподвижных отрицательных ионов и такое же количество свободных положительных зарядов — дырок. Германий (кремний) станет полупроводником с *p*-проводимостью. Т-130

Индий и другие подобные примеси называют *акцепторами* (отбирающими), имея в виду, что они отбирают у атомов полупроводника электроны, превращают эти атомы в дырки, создают в полупроводнике дырочную проводимость.

Т-131. Полупроводниковый диод — прибор с двумя примыкающими зонами разной проводимости. На пути к транзистору мы познакомимся еще с одним полупроводниковым прибором — *диодом*. Это знакомство необходимое, даже неизбежное — транзистор, по сути дела, представляет собой два полупроводниковых диода, соединенных в одном кристалле. И в то же время знакомство с диодом имеет и свое собственное важное значение. Полупроводниковый диод — прибор больших возможностей, он находит широкое применение в электронной аппаратуре. Т-131

Приставка «ди» в слове «диод» означает «два», она указывает, что в приборе имеются две основные «детали», два тесно примыкающих один к другому полупроводниковых кристалла (Р-79; 1, 2): один с *p*-проводимостью (это зона *p*), другой — с *n*-проводимостью (это зона *n*). Фактически же полупроводниковый диод — это один кристалл, в одну часть которого введена донорная примесь (зона *n*), в другую — акцепторная (зона *p*). К зоне *p* и к зоне *n* (иногда говорят не «зона», а «область») тем или иным способом присоединены проводники, выводы диода, с помощью которых он соединяется с внешним миром, включается в электрическую цепь.

T-132

Т-132. Основной элемент всех полупроводниковых приборов — *pn*-переход, область соприкосновения зоны *p* и зоны *n*. Руководствуясь замечанием Т-8, забудем на время обо всем, что происходит в полупроводниках, и будем представлять себе вещество с *n*-проводимостью как некий объем, заполненный свободными электронами (на рисунках они условно обозначены белыми шариками), а вещество с *p*-проводимостью как объем с какими-то свободными положительными зарядами (на рисунках черные шарики). К подробностям будем обращаться лишь по мере необходимости. Например, для того, чтобы объяснить, почему свободные электроны и свободные дырки в диоде не устремляются навстречу друг другу, почему не происходит их взаимной нейтрализации.

Вспомните, что, помимо свободных зарядов, в полупроводниках с примесями имеются еще и неподвижные ионы — в зоне *n* это неподвижные положительные ионы донора, например мышьяка, в зоне *p* — неподвижные ионы акцептора, например индия. В нормальном состоянии полупроводник нейтрален, число свободных зарядов и неподвижных ионов, число «плюсов» и «минусов» в нем одинаково. Но как только первые электроны покинут зону *n*, она окажется наэлектризованной, в ней начнет действовать суммарный положительный заряд лишних ионов. И эти ионы начнут тянуть свободные электроны обратно, мешать их движению в сторону границы (Т-8). Точно так же отрицательные ионы будут мешать свободным дыркам уходить из зоны *p*. В итоге между зонами будет существовать пограничная линия, точнее, очень узкая пограничная зона, отделяющая область свободных положительных зарядов от области свободных электронов. Эта пограничная область называется *pn*-переход (звучит так — «пэ-эн-переход»). С событиями в *pn*-переходе связана работа всех полупроводниковых приборов, в частности диодов.

T-133

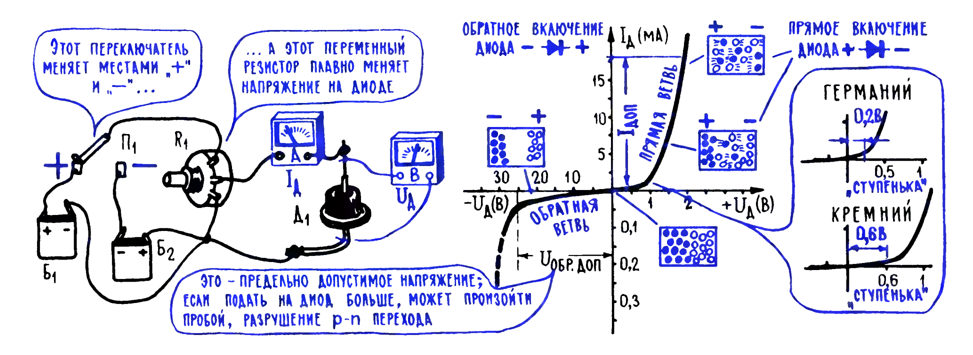
Т-133. Полупроводниковый диод пропускает ток в основном только в одну сторону. Если от батареи подвести к диоду постоянное напряжение «плюсом» к зоне *p* и «минусом» к зоне *n* (Р-79; 3), то свободные заряды — электроны и дырки — хлынут к границе, устремятся к *pn*-переходу (Т-8). Здесь они будут нейтрализовать друг друга, к границе будут подходить новые заряды, и в цепи диода установится постоянный ток. Это так называемое прямое включение диода — заряды интенсивно движутся через него, в цепи протекает сравнительно большой прямой ток.

Теперь сменим полярность напряжения на диоде, осуществим, как принято говорить, его обратное включение — «плюс» батареи подключим к зоне *n*, «минус» — к зоне *p*. Свободные заряды мгновенно оттянутся от границы (Р-79; 4), электроны отойдут к «плюсу», дырки — к «минусу» и в итоге *pn*-переход превратится в зону без свободных зарядов, в чистый изолятор. А значит, произойдет разрыв цепи, ток в ней прекратится.

Правда, небольшой обратный ток через диод все же будет идти. Потому что, кроме основных свободных зарядов (носителей заряда) — электронов, в зоне *n* и дырок в зоне *p* — в каждой из зон есть еще и ничтожное количество зарядов обратного знака. Это собственные неосновные носители заряда, они существуют в любом полупроводнике, появляются в нем из-за тепловых движений атомов (Т-128), и именно они и создают обратный ток через диод. Зарядов этих сравнительно мало, и обратный ток во много раз меньше прямого. Неприятно то, что ток этот зависит от температуры — при нагревании полупроводника число неосновных носителей увеличивается и обратный ток растет (Р-79; 4).

О событиях в полупроводниковом диоде рассказывает его основная

Р-80



характеристика — зависимость тока через диод от приложенного к нему напряжения (Р-80). На некоторые участки этой, как ее называют, вольт-амперной характеристики следует обратить внимание. Прежде всего мы видим, что на ее прямой ветви есть небольшой загиб, ступенька — в области малых напряжений (у германия примерно до 0,2 *В*, у кремния — до 0,6 *В*) прямой ток нарастает незначительно. Такой загиб характеристики появляется вследствие некоторых сложных процессов в *pn*-переходе, он может стать причиной нелинейных искажений сигнала (Т-114, Т-117).

В области обратных напряжений ток почти не меняется: все собственные неосновные носители сразу же включаются в движение, и обратный ток сразу достигает своей предельной величины.

Т-134

Т-134. Важные параметры диода: допустимое обратное напряжение, допустимый прямой ток, прямое и обратное сопротивление. Но вот при некотором обратном напряжении, превышающем допустимую величину $U_{\text{обр доп}}$, обратный ток резко нарастает. Это происходит быстрое лавинообразное разрушение структуры полупроводника, и диод выходит из строя. Кстати, возможны два разных, но одинаково трагичных повреждения диода — разрыв, отгорание контактов внутри прибора или короткое их замыкание, превращение диода в обычный проводник. Допустимое обратное напряжение входит в число основных параметров диода (С-14), напряжение это, естественно, ни в коем случае нельзя превышать.

Другой ограничивающий параметр — допустимый прямой ток $I_{\text{доп}}$. Проходя через диод, прямой ток выделяет в нем некоторую тепловую энергию, нагревает прибор. А нагревание очень опасно для полупроводниковых материалов, оно увеличивает количество неосновных носителей заряда. Вот почему приходится ограничивать величину прямого тока и еще ограничивать рабочую температуру полупроводниковых приборов. Для германиевых диодов и транзисторов предельная рабочая температура +60 °С, а для кремниевых она значительно выше — до +150 °С.

Есть у полупроводникового диода еще два важных параметра — его прямое и обратное сопротивление, то есть сопротивление при разной полярности приложенного к диоду напряжения (Р-79; 3, 4). У плоскостных диодов, в которых площадь соприкосновения зон *n* и *p* сравнительно велика, прямое сопротивление обычно не более нескольких *Ом*, обратное — несколько *кОм* или несколько десятков *кОм*. У точечных диодов, где площадь *pn*-перехода мала (Т-136), прямое сопротивление — несколько десятков *Ом*, обратное — сотни *кОм* и даже несколько *МОм*.

Во всех случаях прямое сопротивление во много раз меньше обратного, и в этом, собственно говоря, отражена так называемая односторонняя проводимость диода. Под действием напряжения диод пропускает ток, и

в электрическую цепь он входит как резистор. Но конечно же, диод принципиально отличается от нормального резистора, сопротивление которого одинаково при любых направлениях тока. И, рассматривая поведение диода в электрической цепи, его приходится считать либо большим, либо малым сопротивлением, в зависимости от полярности приложенного напряжения, в зависимости от направления тока.

Т-135

Т-135. Под действием переменного напряжения в цепи диода появляется пульсирующий ток. До сих пор мы подводили к диоду постоянные напряжения, теперь попробуем подвести переменное. Что при этом произойдет, легко узнать, если к вольт-амперной характеристике (Р-80) пристыковать график переменного напряжения, подобно тому, как мы это делали, рассматривая работу громкоговорителя (Р-73). Пользуясь этими двумя состыкованными графиками — вольт-амперной характеристикой и графиком переменного напряжения,— легко построить третий, график тока, который пойдет в цепи диода (Р-81). Без всяких пояснений видно, что по характеру изменения ток, а вместе с ним и выходное напряжение, уже совершенно не похож на входное напряжение. В одну сторону идут значительные импульсы прямого тока, в другую — ничтожно малые импульсы обратного тока. В большинстве случаев можно вообще пренебречь этими небольшими всплесками обратного тока и считать, что в цепи диода есть только токовые импульсы одного направления.

Как видите, диод производит чрезвычайно сложную операцию — искажает форму сигнала, резко меняет его спектр, создает сильные нелинейные искажения. Такие искажения сигнала в ряде случаев совершенно необходимы, и во многих схемах диод оказывается основным действующим лицом (Т-281).

Т-136

Т-136. Плоскостные и точечные диоды различаются допустимыми параметрами и собственной емкостью. Полупроводниковый диод — это своего рода конденсатор: зону *n* и зону *p* можно рассматривать как обкладки конденсатора, область *pn*-перехода — как изолятор между обкладками (Р-82; 1). Емкость полупроводникового диода — это бесплатное приложение к его основному электрическому свойству — к односторонней проводимости. И нужно сказать, во многих случаях приложение весьма вредное. Так, в частности, собственная емкость диода создает нежелательный обходной путь для переменного тока, который нужно направить через диод (Р-82; 4).

Чтобы поднять допустимую величину прямого тока, площадь *pn*-перехода в диоде нужно увеличивать — при этом уменьшится прямое сопротивление диода, уменьшится выделяемая на нем тепловая мощность ($P = I^2R$), а значит, и опасность перегрева. Но одновременно возрастает собственная емкость диода — чем больше площадь пластин конденсатора, тем больше его емкость. Там, где такая емкость недопустима, скажем в цепях переменного тока высокой частоты, применяются точечные диоды (Р-82; 2). В них *pn*-переход имеет очень небольшую площадь, он образуется в месте прикосновения тонкой проволочки к кристаллу. Естественно, что точечные диоды не могут пропускать большой ток (С-14), но, к счастью, в подавляющем большинстве случаев от них это и не требуется.

В то же время есть тип полупроводниковых диодов, где главным работающим параметром становится «бесплатное приложение» к односторонней проводимости — собственная емкость диода. Это варикапы, полупроводниковые диоды, которые используются в качестве конденсаторов переменной емкости. Много лет назад, когда варикапов не было и в помине, радиолюбители применяли вместо конденсатора настройки обычные плоскостные

С-14. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

До 1964 года все диоды обозначались буквой Д, за которой стояла цифра, указывающая тип прибора. Точечные германиевые диоды обозначались цифрой от 1 до 100, точечные кремниевые — от 101 до 200, плоскостные германиевые — от 201 до 300 и плоскостные кремниевые — от 301 до 400. Старые диоды, выпускаемые сейчас, сохранили свои названия.

В системе обозначений, введенной после 1964 года, перед буквой Д стоит Г или К (германиевый или кремниевый), после букв идет трехзначное число, для выпрямительных диодов оно может быть от 101 до 399, для универсальных — от 401 до 499.

Приводим данные некоторых распространенных типов диодов, приняв такие обозначения: *U* — допустимое обратное напряжение в вольтах, *I* — допустимый прямой ток в миллиамперах (если ток в амперах — рядом с цифрой стоит буква А). Если имеется несколько групп диодов данного типа, то поочередно приводятся данные для каждой из них, так, например, *U*: А — 20, Б — 30 означает, что у диодов группы А допустимое обратное напряжение 20 *В*, для группы Б — 30 *В*; обозначение *U* — 20 (А — 30, Б — 40) означает, что для всех групп *U* = 20 *В*, кроме групп А и Б, для которых соответственно *U* = 30 *В* и *U* = 40 *В*.

Германиевые низкочастотные диоды

Д7 *U*: А — 50, Б — 100, В — 150, Г — 200, Д — 300, Е — 350, Ж — 400; *I* — 300.

Д302 *U* — 200, *I* — 1 *А*
Д303 *U* — 150, *I* — 3 *А*
Д304 *U* — 100, *I* — 5 *А*
Д305 *U* — 50, *I* — 10 *А*

С внешним радиатором площадью 50 *см*^{2}

Кремниевые низкочастотные диоды

Д226 *U*: Б — 400, В — 300, Г — 200, Ж — 100; *I* — 300.
Д229 *U*: В, Ж — 100, Г, И — 200, К — 300, Е, Л — 400; *I* : В, Г, Д, Е — 400, Ж, И, К, Л — 700.

Д242 *U* — 100; *I* — 10 *А*
Д243 *U* — 200; *I* — 10 *А*
Д244 *U* — 50; *I* — 10 *А*
Д245 *U* — 300; *I* — 10 *А*

С внешним радиатором площадью 50 *см*^{2}. Для диодов группы Б (например, Д242 Б) ток *I* — 5 *А*.

КД105: *U*: Б — 400, В — 600, Г — 800, *I* — 300.
КД202: *U* — 50 (В, Г — 100, Д, Е — 200, Ж, И — 300, К, Л — 400, М, Н — 500, Р, С — 600), *I* — 3,5 (А, В, Д, Ж, К, М, Р — 5 *А*).
КД203: *U* — 420 (Б, В — 560, Г, Д — 700); *I* — 10 *А*.
КД208А: *U* — 100; *I* — 1,5 *А*.

Германиевые высокочастотные диоды

Д2 *U* — 50 (Б — 10, В — 30, Е, И — 100, Ж — 150).
Д9 *U* — 30 (Б — 10, Е — 50, Ж, Л — 100); *I* — 30 (Ж, Л — 15, В, Е — 20, Б — 40).
ГД403 *U* — 5; *I* — 5.

Кремниевые высокочастотные диоды

Д220 *U* — 50 (А — 70, Б — 100); *I* — 50.
Д223 *U* — 50 (А — 100, Б — 150); *I* — 50.
Д101, Д102, Д103 *U* — 30 (Д102 — 50, Д101 — 75); *I* — 30.
КД409А *U* — 24; *I* — 50.

Фотодиоды

ФД1: напряжение (обратное) *U*, в вольтах, *В* — 15; наибольший ток *I* при освещении фотодиода, в микроамперах, *мкА* — 800; темновой ток $I_т$, в микроамперах, *мкА* — 30.
ФД2: *U* — 30; *I* — 300; $I_т$ — 25.
ФД3: *U* — 10; *I* — 250; $I_т$ — 15.

Светодиоды

АЛ301А(К): прямое напряжение *U* — 2,8; *I* — 5; сила света 25 *мкКд* (микрокандела).
АЛ307А(К): *U* — 2; *I* — 10; сила света — 150 *мкКд*.

АЛ307Г(З): *U* — 2,8; *I* — 22; сила света — 1500 *мкКд*.
АЛ307Е(Ж): *U* — 2,5; *I* — 22; сила света — 1500 *мкКд*.
АЛ310А(К): *U* — 2; *I* — 12; сила света — 600 *мкКд*.

Знаковые индикаторы

АЛ304А(К): *U* — 3; *I* — 5; яркость — 140 *мкКд/м*^{2}.
АЛ304Б(К): *U* — 3; *I* — 5; яркость — 80 *мкКд/м*^{2}.
АЛ304В(З): *U* — 3; *I* — 10; яркость — 60 *мкКд/м*^{2}.
АЛ304Г(К): *U* — 3; *I* — 10; яркость — 350 *мкКд/м*^{2}.

Примечания: 1. Буквы в скобках указывают цвет свечения: К — красный, З — зеленый, Ж — желтый.
2. Индикаторы АЛ304 — семисегментные с точкой (см. К-21).
3. На общий электрод индикаторов АЛ304А, АЛ304Б и АЛ304В подается «минус» питающего напряжения (общий катод), на общий электрод индикатора АЛ304Г подается «плюс» питающего напряжения (общий анод).

Варикапы

КВ101А: максимальное обратное напряжение *U*, в вольтах, *В* — 4; изменение емкости *С*, в пикофарадах, *пФ* — 160 ÷ 240; добротность *Q*; в относительных единицах — 12.
КВ102А: *U* — 45; *С* — 14 ÷ 23; *Q* — 40.
КВ102В: *U* — 45; *С* — 25 ÷ 40; *Q* — 40.
КВ104А: *U* — 45; *С* — 90 ÷ 120; *Q* — 100.
КВ105А: *U* — 90; *С* — 125 ÷ 600; *Q* — 500.
КВ107А: *U* — 5,5 ÷ 16; *С* — 10 ÷ 40; *Q* — 20.
КВ107Г: *U* — 13 — 31; *С* — 30 ÷ 65; *Q* — 20.
КВ110А: *U* — 45; *С* — 12 ÷ 18; *Q* — 300.

Стабилитроны

Даные приведены на рисунке Р-171.

диоды — их включали, например, в колебательный контур, одновременно подавали на диод обратное напряжение и меняли его с помощью потенциометра (Р-80). При этом менялась собственная емкость диода, так как менялось расстояние между «обкладками» — чем больше обратное напряжение, тем сильнее оттягиваются *р*- и *п*-области от пограничной линии (Р-82; 5).

Достаточно велик список профессий диода, в которых используется не его односторонняя проводимость, а прежде всего совсем иные свойства и процессы. В этом списке, например, открывание диода и пропускание прямого тока лишь под действием света (фотодиод), который определенным образом меняет свойства того или иного полупроводникового материала. В этом списке и излучение света в светодиодах — в излучение превращается часть энергии прямого тока. Такие светящиеся диоды можно увидеть в некоторых современных телевизорах возле кнопок переключения программ. Светоизлучающими диодами также высвечивают цифры в некоторых микрокалькуляторах и электронных часах — для этого используют семисегментные светодиоды, то есть приборы, где конструктивно объединены семь диодов-штрихов, разные их сочетания дают цифры от 0 до 9 (К-21; 4).

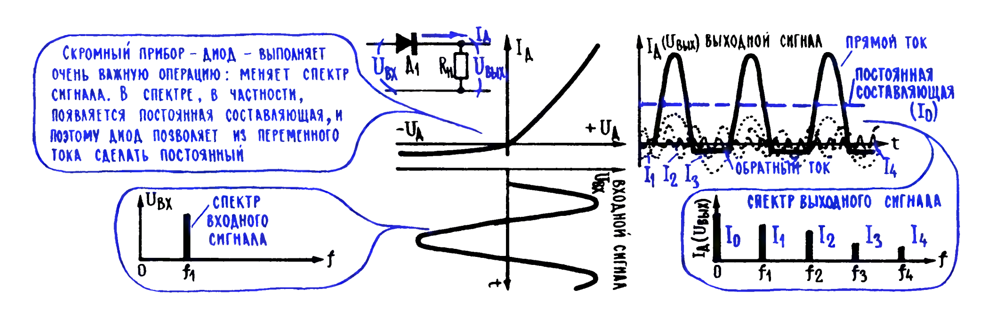
Особого типа излучающие диоды — основа полупроводниковых лазеров: здесь, как и в светодиодах, излучение возникает за счет энергии прямого тока и излучателями становятся сами атомы полупроводникового кристалла. Иной механизм излучения у диодов Ганна, где под действием тока излучается уже не свет, а радиоволны. Здесь главную роль играют электри-

ческие домены — своего рода острова электрического поля в кристалле. Уместно вспомнить еще и туннельный диод, в числе основных профессий которого тоже генерирование высокочастотных колебаний — здесь, благодаря тонким физическим процессам в *pn*-переходе (туннельный эффект), у диода при определенном режиме появляется так называемое отрицательное сопротивление: диод не отбирает энергию, а как бы отдает ее в ту цепь, куда включен. Сложные физические процессы определяют важнейшее качество диода-стабилитрона, позволяющего поддерживать неизменным режим электрической цепи при случайных изменениях питающего напряжения (Т-286, Р-171).

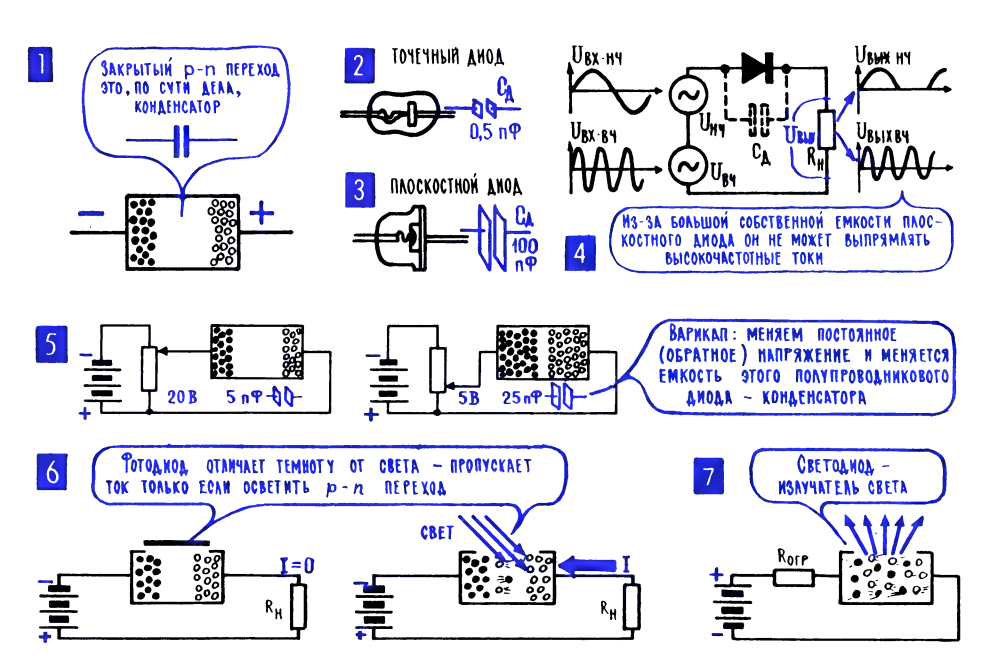
Т-137. Односторонняя проводимость полупроводникового диода обнаруживается уже в простейших опытах. Нетрудно понять человека, который, познакомившись со сложным физическим процессом по его краткому и упрощенному описанию с картинками, испытывает некоторые сомнения. Откуда известно, что все происходит именно так? Как доказать, что добавление индия действительно создает в германии или кремнии дырочную проводимость? Что при одной полярности напряжения заряды оттягиваются от *pn*-перехода, а при другой полярности — устремляются к нему? И что он вообще существует, этот *pn*-переход, что есть зоны разной проводимости в совершенно однородном по внешнему виду кристаллике?

Процессы, которые происходят в полупроводниковых приборах, конечно же, тщательно исследованы специалистами. Более того, создание диодов и транзисторов стало возможным только благодаря тому, что физики глубоко проникли в самые тонкие механизмы взаимодействия атомов, изменения структуры вещества, поведения его в разных условиях. Сегодня исследователи полупроводниковых кристаллов могут не только экспериментально доказать, что добавление индия создает в германии или кремнии дырочную проводимость. Они могут точно определить количество дырок или свободных электронов в единице объема, измерить время жизни свободных зарядов, среднюю скорость их перемещения в электрическом поле. С помощью электронного микроскопа исследователи могут просто увидеть *pn*-переход, проследить за процессами, которые в нем происходят при прямом и обратном включении.

У вас под руками нет, по-видимому, электронного микроскопа и других приборов, которые помогли бы прямыми опытами и демонстрациями проиллюстрировать рассказ о событиях в полупроводниковом диоде. Но вы все же можете провести эксперимент, который, по крайней мере, докажет правдоподобность выводов об односторонней проводимости *pn*-перехода. Причем не мысленный эксперимент, как часто бывало раньше, а настоящий, «в металле». Для него нужны батарейка, лампочка и любой плоскостной диод. Весь ход эксперимента показан на Р-79; 5. Он безоговорочно подтвер-



Р-82



ждает: диод пропускает ток в одну сторону, его прямое сопротивление мало, а обратное — велико.

Т-138 **Т-138. Транзистор — полупроводниковый прибор с двумя *pn*-переходами и тремя зонами разной проводимости, со структурой *p-n-p* или *n-p-n*.** Слово «транзистор» происходит от слов «трансфер» (в переводе с английского — «преобразователь») и «резистор». Немного позже (Т-141) появится возможность пояснить, с чем именно связано такое название, а пока несколько слов об устройстве прибора.

Можно сказать, что транзистор представляет собой два полупроводниковых диода, с одной общей проводящей зоной (Р-83). В зависимости от типа проводимости этой общей зоны могут быть и два типа транзисторов, с двумя разными последовательностями проводящих зон: *p-n-p* и *n-p-n* (Р-83; 1, 2). Такие транзисторы с разной структурой, или, как их принято называть, транзисторы разной проводимости, не отличаются по принципу действия, по своим основным характеристикам и возможностям. Однако технология производства *p-n-p* транзисторов в какое-то время была проще, удобнее, и тогда они стали основным типом полупроводниковых усилительных приборов. С того времени транзисторы со структурой *p-n-p* иногда называют транзисторами прямой проводимости, а со структурой *n-p-n* — транзисторами обратной проводимости.

Т-139 **Т-139. Три зоны транзистора — эмиттер, коллектор и база; усиливаемый сигнал подводят к эмиттерному *pn*-переходу, и усиленный получают в коллекторной цепи.** Средняя зона транзистора называется базой, сокращенное обозначение — *б*. Это название идет с давних времен, если, конечно, здесь применимо само это слово «давний» — транзистор изобретен всего лет сорок назад. Тогда существовали только точечные транзисторы, у которых средняя зона была конструктивным основанием, базой прибора (Р-83; 3). Сейчас точечных транзисторов уже не делают, их полностью вытеснили более технологичные и совершенные плоскостные приборы, однако название рабочих зон, в том числе и название «база», остались без изменений.

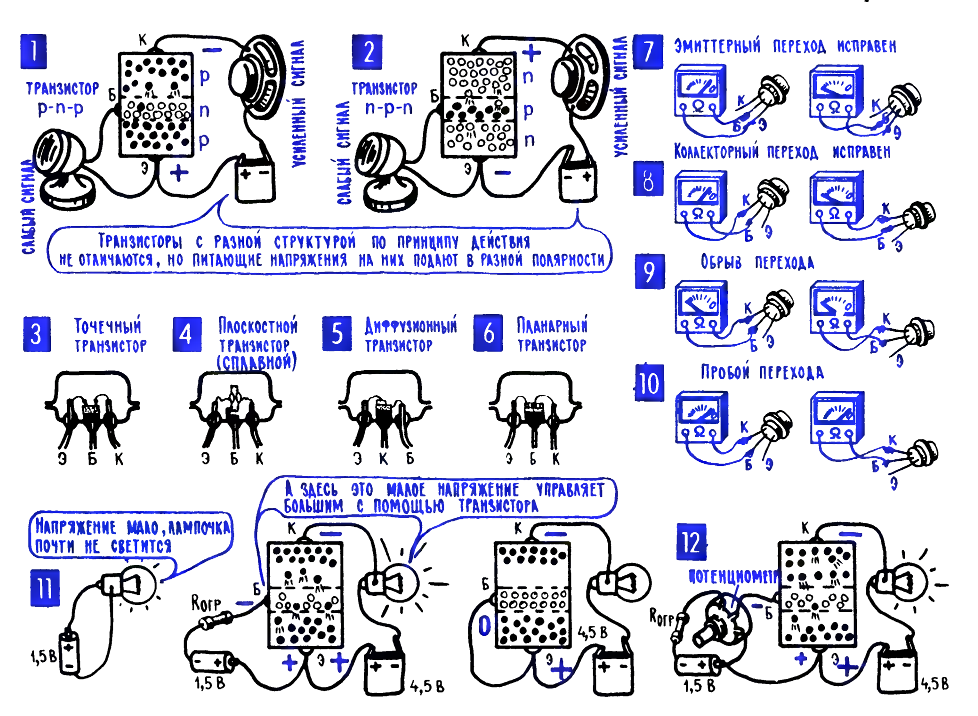
С двух сторон к базе примыкают две зоны иной проводимости — эмиттер *э* (испускающий заряды) и коллектор *к* (собирающий заряды). По своим электрическим характеристикам коллектор и эмиттер в основном одинаковы — некоторые транзисторы работают, если по ошибке включить эмиттер вместо коллектора. Однако они различаются конструктивно — коллектор делают более массивным (он должен выдерживать значительно большие тепловые нагрузки).

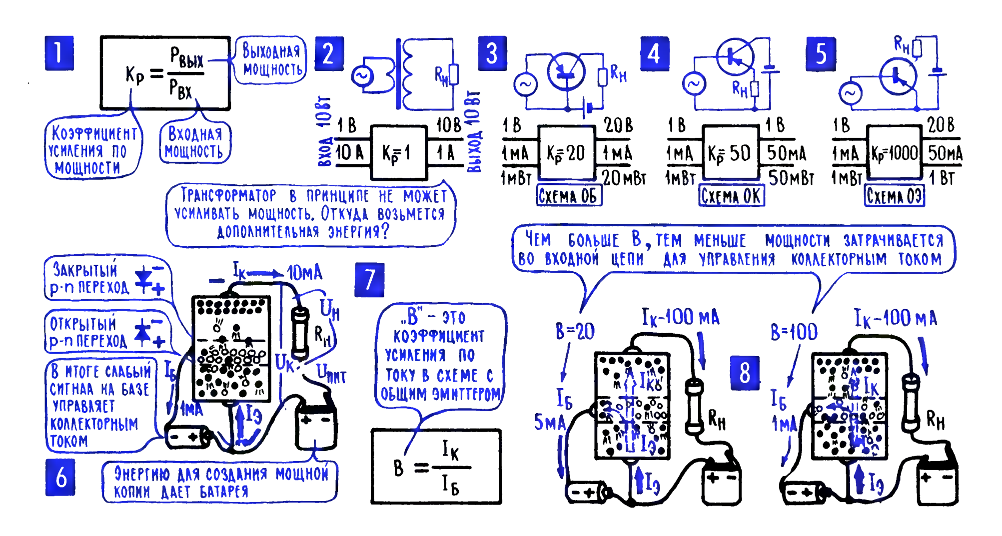
На Р-83; 1, 2 в самом общем виде показана схема включения транзистора в усилитель электрических сигналов. Транзистор позволяет практически осуществить систему усиления электрических сигналов, в которой слабый сигнал меняет сопротивление переменного резистора (реостата), включенного в цепь источника постоянного тока (Р-76). При этом эмиттерный *pn*-переход играет роль привода, он легко «перемещает движок реостата», роль которого играет коллекторная цепь.

Знакомство с полупроводниковым диодом мы закончили экспериментом. доказывающим его одностороннюю проводимость. Знакомство с транзистором начинаем с экспериментов, которые должны подтвердить, что он может быть использован для усиления электрических сигналов.

Т-140. Усилительные возможности транзистора обнаруживаются в простейших опытах. Основное оборудование, необходимое для этих опытов,— лампочка на 3,5 *В*, батарейка на 4,5 *В*, любой гальванический элемент на 1,5 *В*, переменный резистор сопротивлением около 1 *кОм* и любой транзистор. Как у него расположены выводы эмиттера, базы и коллектора, можно узнать по справочным рисункам (К-6). Т-140

Первая серия опытов (Р-83; 7, 8; в мысленном эксперименте вместо омметра вполне можно включить лампочку и батарейку — чем ярче светится лампочка, тем, значит, больше ток и, следовательно, меньше сопротивле-





ние) — предварительная, она лишь подтверждает, что в *р-п-р* транзисторе есть два *рп*-перехода и его можно рассматривать как два диода с общей зоной *п*. Для определенности мы выбрали *р-п-р* транзистор, но можно взять и транзистор *п-р-п* (сменив полярность всех батарей), результат опытов при этом не изменится.

Вторая серия опытов начинается с того, что лампочку на 3,5 *В* мы подключаем к источнику с напряжением 1,5 *В* и убеждаемся, что лампочка не горит. Мало́ напряжение, по нити идет слишком слабый ток, в ней выделяется недостаточная тепловая мощность. Однако напряжение 1,5 *В* можно использовать для зажигания лампочки, если управлять этим процессом через транзистор (Р-83; 11). Здесь энергию для свечения лампочки дает коллекторная батарея 4,5 *В*, а напряжение 1,5 *В* от элемента лишь подает команду «Светить!» ($R_{огр}$ — 100 *Ом* ограничивает базовый ток; этот резистор нужен во всех случаях, когда мы от мысленных экспериментов переходим к опытам «в металле» и при этом напряжение на базу подаем от отдельной батареи).

Следующий шаг: плавное изменение управляющего напряжения с помощью переменного резистора (Р-183; 12) — ток в коллекторной цепи (о нем можно судить по яркости свечения лампочки) следует за всеми изменениями входного напряжения. Значит, если подать на вход транзистора, то есть подвести к эмиттерному *рп*-переходу, реальный электрический сигнал, то в коллекторной цепи появится его мощная копия. Переменный резистор в этом опыте — 1 килоом.

Убедившись на опыте в замечательных усилительных способностях транзистора, шагнем дальше, попробуем разобраться в том, как это делается.

Т-141 **Т-141. Открытый эмиттерный *рп*-переход «впрыскивает» заряды в коллекторный *рп*-переход и тем самым меняет его сопротивление, управляет коллекторным током.** Прежде всего обратите внимание на то, в какой полярности поданы напряжения на эмиттерный и коллекторный *рп*-переходы. Коллекторная батарея подключена «минусом» к коллектору и «плюсом» к базе (в наших схемах «плюс» соединен с базой через эмиттер, есть схемы, где они соединяются непосредственно), и поэтому коллекторный переход, по сути дела, представляет собой диод, включенный в обратном направлении, сопротивление его очень велико (Р-84; 6).

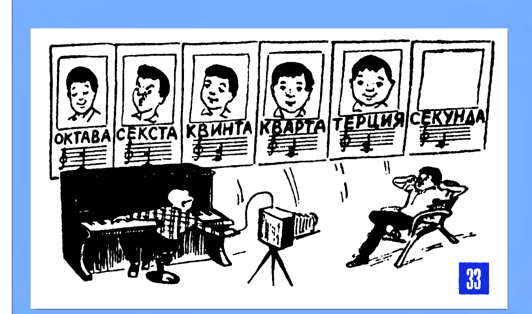
А к эмиттерному pn-переходу напряжение подведено в такой полярности, что переход открыт и участок база-эмиттер ведет себя как диод, включенный в прямом направлении: сопротивление его мало, через переход идет прямой ток.

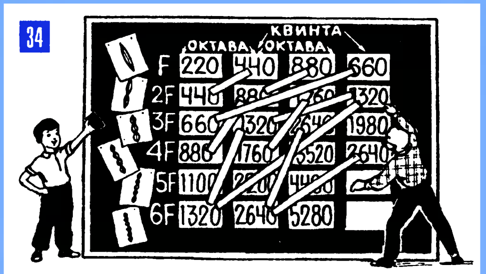
Если бы коллекторный и эмиттерный pn-переходы были изолированы один от другого, то на этом описание событий и закончилось бы. Но в p-n-p транзисторе у двух диодов общая зона n, и именно в ней вступает в действие новая сила — диффузия. Диффузию нам приходится наблюдать довольно часто. Например, когда в стакан воды попадает капля чернил и быстро окрашивает всю воду. Это работает диффузия — «распространение вещества в среде, обусловленное неодинаковостью его концентрации за счет энергии теплового движения».

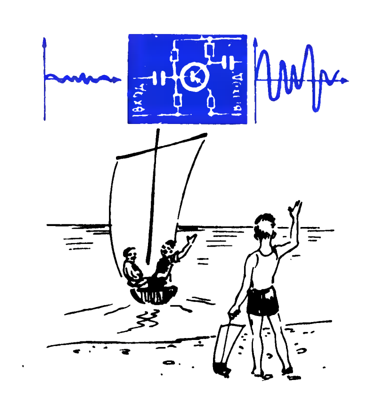
Диффузия играет исключительно важную роль в работе транзистора. Свободные положительные заряды — дырки (их приносит в базу эмиттерный ток) в результате диффузии быстро распространяются по всей базе и при этом, естественно, попадают в область коллекторного pn-перехода. И вот тут-то и происходит самое главное — «минус» коллекторной батареи хватает положительные заряды и сильно тянет их к себе, в транзисторе появляется коллекторный ток. Коллекторная цепь, до этого разорванная большим сопротивлением закрытого pn-перехода, начинает проводить ток: его всегда готова создать коллекторная батарея, были бы свободные заряды. И поэтому если меняется ток в эмиттерном переходе, то меняется ток и в коллекторном переходе, для которого эмиттерный переход просто-напросто дает сырье, поставляет свободные заряды (Т-8).

Итак, мы нашли нужную пару независимых и в то же время «пересекающихся» физических процессов: ток в цепи эмиттер—база и коллекторный ток. Образно говоря, мы нашли «заслонку», которую искали (Т-126), нашли способ менять сопротивление реостата (коллекторная цепь) с помощью электрического сигнала (напряжение на участке база—эмиттер). Но сможет ли эта пара процессов давать усиление? Будет ли изменение мощности в коллекторной цепи больше, чем затраты мощности на создание тока в цепи эмиттер—база?

Ответ на этот принципиальный вопрос — усилитель или ослабитель? — был получен нами еще «до того» в нескольких простейших экспериментах (Р-83; 11, 12), доказавших: с помощью транзистора можно усиливать электрические сигналы.







ГЛАВА 10

ОТ УСИЛЕНИЯ К УСИЛИТЕЛЮ

Т-142 **Т-142. Мощность усиливаемого сигнала выделяется в нагрузке.** Чтобы от общих представлений об усилителях, от усилителя в принципе, сделать первый шаг к конкретным усилительным схемам, нужно включить в цепь, где проходит коллекторный ток, нагрузку. Именно нагрузка отбирает у меняющегося коллекторного тока мощность, отбирает мощность у «мощной копии» сигнала, превращает ее в звук, в свет на телевизионном экране, в какое-либо действие в системе автоматического управления или, наконец, просто в более мощный электрический сигнал, который подвергается дальнейшей обработке. Соответственно в качестве нагрузки может быть включен громкоговоритель, кинескоп, исполнительное устройство электронного автомата. Но для электрических цепей усилителя все они не более чем потребители энергии, не более чем резисторы. И, интересуясь пока только «электрическими событиями» в транзисторном усилителе, будем считать его нагрузкой обычный резистор $R_н$ (Р-84; 6). Тем более что очень часто, когда от усилителя требуется просто более мощный электрический сигнал, именно резистор включен в коллекторную цепь.

Т-143 **Т-143. Усиление по мощности складывается из усиления по току и усиления по напряжению.** Что должен сделать усилитель, усиливая слабый сигнал? Увеличить ток? Увеличить напряжение? Усилитель должен увеличить мощность сигнала. Если можно было бы обойтись только напряжением или только током, то не нужен был бы никакой усилитель, все прекрасно сделал бы обычный трансформатор. Усилитель применяют, когда от сигнала требуется бóльшая мощность, когда у него просто не хватает сил, как, скажем, в примере с микрофоном и громкоговорителем (Т-122).

Мощность — произведение тока на напряжение, $P = U \cdot I$ (Т-41). А значит, можно разными способами увеличивать мощность, менять один из сомножителей — ток I, или напряжение U, или оба вместе.

На рисунке Р-84 показано несколько примеров того, чтó может произойти с мощностью электрического сигнала в некотором условном его преобразователе — он изображен в виде квадрата. Цифры в примерах подобраны так, чтобы без громоздких вычислений можно было уловить суть дела. Первый пример относится к трансформатору и подтверждает, что он не увеличивает мощность сигнала. Мощность могут повысить разные схемы транзисторных усилителей, но делают они это по-разному. Схема ОБ, увеличивая напряжение сигнала (об этом принято говорить так — схема дает усиление по напряжению), схема ОК — за счет увеличения тока (усиление по току), а схема ОЭ, увеличивая и ток и напряжение, причем, как правило, в различное число раз. Нужно, по-видимому, пояснить, что загадочные буквы ОБ, ОК и ОЭ

означают «общая база», «общий коллектор» и «общий эмиттер», они отражают некоторые особенности включения самого транзистора в схему усилителя. Об этих особенностях речь впереди (Т-190), а пока знакомство с транзисторным усилителем продолжим на примере самой распространенной его схемы ОЭ, которая, кстати, рассматривалась и во всех предыдущих примерах (Р-83. Р-84; 6).

Т-144. Усилительные возможности транзистора отражает его коэффициент усиления по току (В). То, что транзистор дает усиление по току, связано с процессами, которые происходят в базе. Все попавшие сюда из эмиттера заряды можно разделить на две части — те, что проходят в коллекторный переход и в итоге включаются в коллекторный ток, и те заряды, которые в коллекторный переход не попадают, а циркулируют во входной цепи, поддавшись притягивающему действию напряжения на базе. Т-144

Не забывайте — эмиттерный переход открыт, когда на базе «минус», и она старается забрать себе все свободные положительные заряды, все дырки, которые приходят из эмиттера. Это нормальное, законное действие базы: если бы оторвать от транзистора коллектор, то в базовой цепи циркулировали бы вообще все заряды, вышедшие из эмиттера. Однако же коллектор существует, и за счет диффузии в тонкой базе часть зарядов отклоняется от своего нормального, законного пути во входную цепь, попадает в коллекторный переход.

Введем несколько обозначений. Все заряды, которые вышли из эмиттера, создают эмиттерный ток $I_э$ (Р-85; 1), те, что попали в коллекторный переход, создают коллекторный ток $I_к$, а те, что сумела захватить база, воспользовавшись своими законными правами, своим «минусом», замыкаются по входной цепи и создают базовый ток $I_б$.

Если распутать всю цепочку событий во входной цепи усилителя, то она будет выглядеть так: усиливаемый сигнал — напряжение $U_б$ — действует между базой и эмиттером; слабый сигнал $U_б$ создает прямой ток $I_э$ в эмиттерном переходе; часть этого тока — $I_к$ — уходит в коллекторную цепь, она будет использована для создания мощной копии сигнала; когда меняется напряжение $U_б$, то меняется $I_э$, а вместе с ним $I_к$, это и означает, что слабый сигнал $U_б$ управляет мощным потоком энергии $I_к$; часть общего тока $I_э$ замыкается во входной цепи — это базовый ток $I_б$, он, по сути дела, и определяет ту энергию, которую должен отдавать транзистору источник слабого усиливаемого сигнала.

Отсюда — предельно простой и исключительно важный вывод: чем большая часть $I_э$ приходится на долю $I_к$, то есть чем больше $I_к$ по сравнению с $I_б$, тем большее усиление по току дает транзистор. Или, иными словами, несколько более глубоко отражающими суть дела: чем больший коллекторный ток $I_к$ создается сигналом, который расходует при этом во входной цепи ток $I_б$, тем выше усиление по току. И наконец, третье описание сложившихся взаимоотношений между токами транзистора: отношение $I_к$ к $I_б$ называется «коэффициент усиления по току» B, и чем выше этот коэффициент B, тем лучше транзистор усиливает ток (Р-84; 7, 8).

Если бы заряды, вышедшие из эмиттера, поровну делились бы между $I_к$ и $I_б$, то коэффициент B был бы равен единице и никакого усиления по току не было бы. Если бы $I_б$ оказался больше, чем $I_к$, то B был бы меньше единицы и транзистор, вместо усиления, ослаблял бы ток. Чтобы ток усиливался, нужно, чтобы B было больше единицы, и чем оно больше, тем выше усиление тока. Правда, транзисторы со слишком высоким B тоже нехороши: применение их связано с рядом трудностей (Т-162). Коэффициент усиления по

току для реальных транзисторов лежит в пределах от 10—15 до 250—300. Узнать коэффициент *B* можно по названию прибора, пользуясь справочной таблицей (С-15), а можно измерить его с помощью простейших приборов (К-16).

Т-145

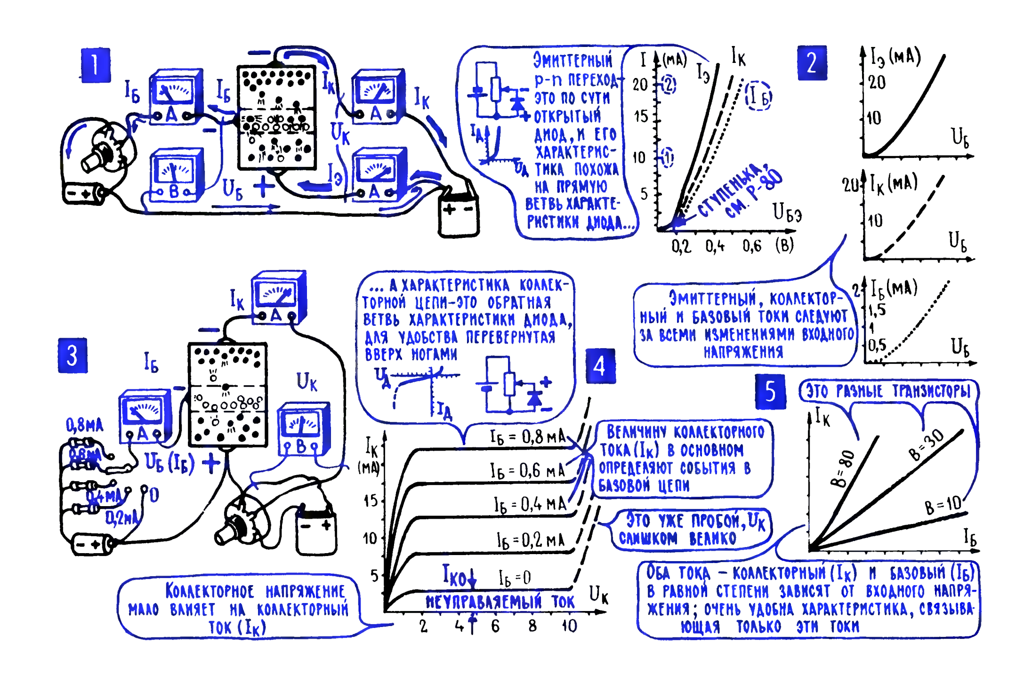
Т-145. О взаимосвязи токов и напряжений в транзисторном усилителе рассказывают его вольт-амперные характеристики. Зависимость общего тока $I_э$ в эмиттерном *pn*-переходе от приложенного к нему напряжения $U_б$, а вместе с ней зависимость базового тока $I_б$ и коллекторного $I_к$ от этого напряжения (Р-85; 2) в точности повторяют знакомую нам уже вольт-амперную характеристику диода (Р-80). Строго говоря, только ток $I_э$ можно считать истинным током через диод, а токи $I_б$ и $I_к$ — это лишь его ответвления, его части. Но части, которые в точности следуют за всеми изменениями целого. Поэтому вольт-амперные характеристики для токов $I_б$ и $I_к$ почти в точности повторяют вольт-амперную характеристику для тока $I_э$, и если их построить в определенных масштабах (одинаковым отрезкам на вертикальной оси соответствуют разные значения токов), то все три характеристики будут почти неотличимы (Р-85; 2).

На основе последних двух характеристик можно построить еще одну — она покажет, как зависит коллекторный ток от базового (Р-85; 5), то есть ток $I_к$, в котором отражен выходной сигнал, от тока $I_б$, в котором отражен входной сигнал. Эта характеристика пойдет тем круче, чем больше коэффициент усиления по току *B* — одному и тому же изменению базового (входного) тока при разных *B* будут соответствовать разные изменения коллекторного (выходного) тока.

Нетрудно построить вольт-амперную характеристику и для коллекторного *pn*-перехода. Нужно только помнить, что на коллектор подается «минус», что коллекторный переход работает в режиме диода, включенного в обратном направлении, запертого. Вольт-амперная характеристика коллекторной цепи (Р-85; 4) — это есть обратная ветвь вольт-амперной характеристики диода (Р-80), для удобства лишь перевернутая «вверх ногами». На этой характеристике целое семейство кривых — они относятся к нескольким значениям тока в эмиттерном *pn*-переходе.

Вспомните — чем больше открыт транзистор, то есть чем больше напряжение, подведенное к участку эмиттер — база, и, следовательно, чем больший ток $I_б$ идет в этой цепи, тем больше и коллекторный ток $I_к$. На характеристиках коллекторной цепи это влияние $I_б$ на $I_к$ отражено именно в том, что характеристик этих много, каждая более высокая кривая соответствует большему входному току транзистора. Семейство коллекторных характеристик не только говорит о том, как ведет себя выходная цепь транзистора сама по себе (как $I_к$ зависит от $U_к$), но и как влияет на ее поведение входная цепь.

Что же касается собственного поведения коллекторного перехода, то оно всегда одинаково — с увеличением напряжения на коллекторе $U_к$ коллекторный ток $I_к$ сначала быстро нарастает, а потом почти не меняется: почти все заряды, которые база впрыснула в коллекторный переход, уже включились в коллекторный ток, и дальше он расти просто не может. Нет материала, нет резерва в армии движущихся зарядов. Теперь существует только один способ увеличить ток $I_к$: нужно увеличить базовый ток $I_б$ (напоминаем: фактически увеличение $I_б$ — это не причина, это тоже следствие; увеличение $I_б$ говорит о том, что возросло $U_б$, стал больше $I_э$, а значит, $I_б$ также возрос) и тем самым перейти на следующую ступень в семействе коллекторных характеристик.



Т-146. Во избежание искажений нужно создать в базовой цепи некоторый начальный ток — ток смещения. Пристыковав к одной из входных вольт-амперных характеристик транзистора (Р-85; 2) график переменного напряжения, которое нужно усилить, график слабого усиливаемого сигнала, можно получить график его мощной копии, график изменения коллекторного тока. Первая же попытка выполнить такую операцию сталкивает нас с чрезвычайно неприятным явлением, которого, между прочим, следовало ожидать: под действием переменного напряжения во входной цепи транзистора идет не переменный, а пульсирующий ток (Р-86; 1). Так же как шел пульсирующий ток в цепи полупроводникового диода (Р-81). И поэтому в процессе усиления мы до неузнаваемости исказим слабый сигнал, что, мягко говоря, весьма нежелательно. Т-146

Без подробного анализа обстановки сразу же предложим верный способ борьбы с такими искажениями сигнала: к входной цепи транзистора вместе с усиливаемым сигналом нужно подвести еще некоторое постоянное напряжение, создать некоторый ток смещения. И подобрать этот ток смещения нужно с таким расчетом, чтобы сигнал на входе транзистора, с одной стороны, не переходил опасную границу допустимого прямого тока, а с другой стороны, не попадал в область запирающих напряжений, в область «плюса» на базе (Р-86; 2). Устанавливая начальное смещение, очень часто приходится поглядывать и на допустимый коллекторный ток, приведенный в С-15, его тоже нельзя превышать.

Т-147. Смещение на базу легко подать от коллекторной батареи. Существуют разные способы введения в базовую цепь постоянного тока смещения $I_{см}$. Можно для этого использовать отдельную батарею (Р-86; 3), а можно подать на базу необходимое постоянное напряжение от коллекторной батареи. Т-147

Чтобы открыть эмиттерный переход, на эмиттере относительно базы в *p-n-p* транзисторах должен быть «плюс» (чтобы появился постоянный ток $I_{см}$ между базой и эмиттером, должно появиться постоянное напряжение $U_{см}$),

а значит, на базе относительно эмиттера «минус». Но коллекторная батарея тоже дает «минус» относительно эмиттера — этот «минус» как раз и подается на коллектор. Коллекторное напряжение, если можно так сказать, имеет удачную полярность, чтобы по совместительству использовать его для подачи отрицательного смещения на базу.

Делается это чаще всего с помощью делителя (Р-86; 4), который в нужное число раз уменьшает напряжение — на коллектор подается несколько вольт, а смещение на базе обычно составляет доли вольта. Более простой способ подачи смещения — «минус» попадает на базу через гасящий резистор $R_б$ (Р-86; 5). Ток базы, проходя по этому резистору, создает на нем значительное падение напряжения, и на базе остается малая часть коллекторного напряжения. Чем меньше сопротивление гасящего резистора $R_б$, тем меньшая часть коллекторного напряжения теряется на нем, тем больше отпирающий «минус» будет на базе. Об этом можно сказать и иначе: сопротивление эмиттерного перехода мало́ (транзистор открыт), а последовательно с ним включено $R_б$ со сравнительно большим сопротивлением. И поэтому именно $R_б$ определяет ток в цепи (Р-20, Р-105) — чем меньше $R_б$, тем больше этот ток, который для транзистора служит начальным током смещения.

Точно подобрав величину начального смещения, можно установить такой режим транзистора, при котором по крайней мере не будут «отрезаться» куски сигнала и не будет связанных с этим огромных нелинейных искажений. Однако же неизбежной платой за неискаженный сигнал станет некоторый напрасный расход энергии батареи: в частности, начальный ток смещения $I_{см}$, а вместе с ним постоянный ток в коллекторной цепи — ток покоя $I_{пок}$ — будут потреблять энергию даже в том случае, когда сигнала нет (молчание перед микрофоном; Р-87).

Т-148 **Т-148. Меняющийся коллекторный ток создает на нагрузке меняющееся напряжение.** Коллекторный ток, по сути дела, есть сумма переменной составляющей $I_{к\sim}$ и постоянной $I_{к-}$, которая при отсутствии сигнала равна току покоя $I_{пок}$ (Р-87). Ток покоя появился в коллекторной цепи под действием постоянного смещения на базе $U_{см}$, а переменная составляющая $I_{к\sim}$ — под действием орудующего на базе сигнала $U_{сиг}$. В случае необходимости переменную составляющую коллекторного тока, точнее, часть ее $I^{!}_{к\sim}$ можно отделить, ответвить в сторону с помощью простейшего RC-фильтра (Т-79) и получить таким образом усиленный сигнал $U_{вых}$ в чистом виде.

Но это все будет потом (Т-155. Т-158), а пока придется признать, что если коллекторный ток $I_к$ есть сумма постоянной и переменной составляющих, то и напряжение на нагрузке $U_н$ тоже можно рассматривать как сумму постоянного и переменного напряжения — $U_н = U_{н-} + U_{н\sim}$. Напряжение на нагрузке по пятам следует за всеми изменениями коллекторного тока· ток увеличивается — и оно растет, ток уменьшается — и оно падает. И одновременно с изменением напряжения $U_н$ на нагрузке меняется и напряжение $U_к$ на самом коллекторе, точнее, между коллектором и эмиттером.

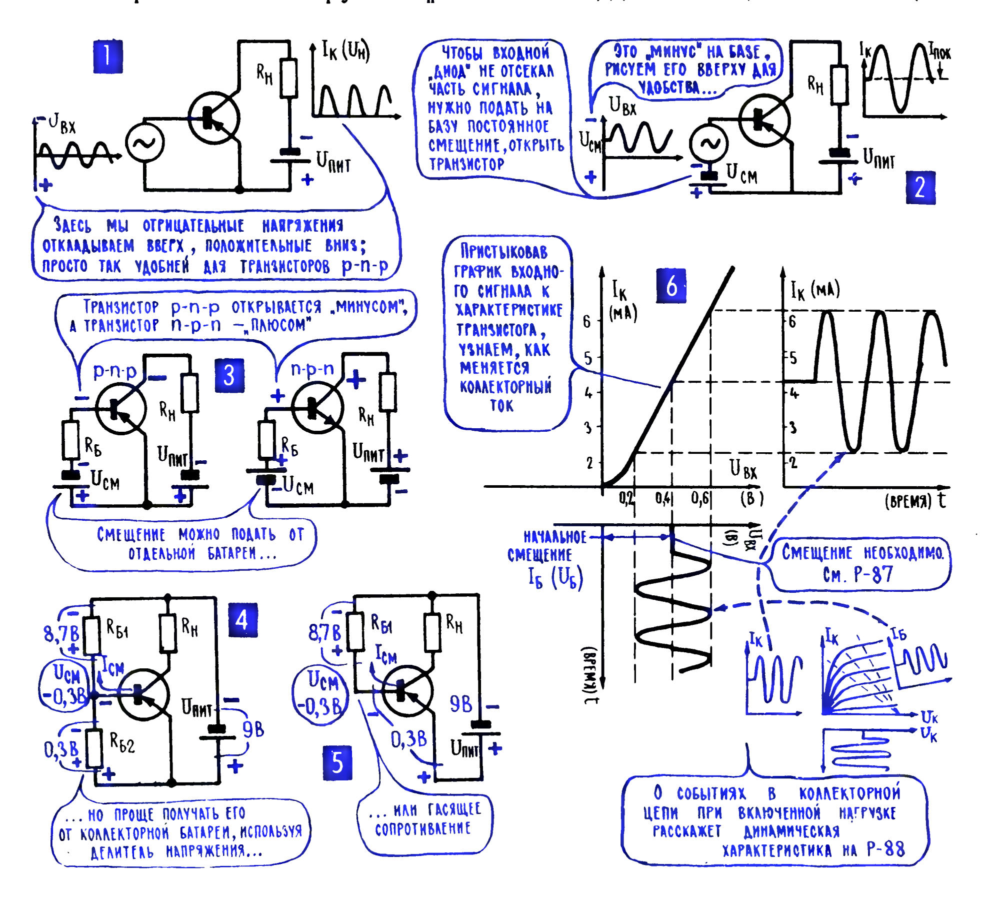
Т-149 **Т-149. При включенной нагрузке в момент наибольшего коллекторного тока напряжение на коллекторе минимально.** Все напряжение питания $U_{пит}$ распределяется между нагрузкой $R_н$ и самим транзистором. И чем бо́льшая часть этого напряжения остается на нагрузке, тем меньше достается коллектору. Поэтому при максимальном коллекторном токе, при котором напряжение на нагрузке самое большое, на коллекторе остается минимальное напряжение. Об этом можно сказать еще и так: сопротивление нагрузки $R_н$ и сопротивление коллекторной цепи транзистора $R_{кэ}$ (это в основном сопротивление

коллекторного pn-перехода) образуют делитель напряжения (Т-40), на котором распределяется все напряжение $U_{пит}$. Усиливаемый сигнал, действуя с командного пункта, с базы, меняет сопротивление коллекторного pn-перехода, а значит, меняет соотношение сопротивлений в делителе $R_н$, $R_{кэ}$, меняет распределение напряжений на нем. В сумме эти напряжения всегда равны $U_{пит}$, поэтому, если уменьшается сопротивление $R_{кэ}$ и вместе с ним $U_к$, то одновременно на столько же вольт возрастает $U_н$.

Напряжения $U_н$ и $U_к$ меняются противофазно: когда напряжение на нагрузке растет, напряжение на коллекторе падает, и наибольшему коллекторному току соответствует наименьшее коллекторное напряжение.

Вспомним (в который раз!), что мощность — это произведение тока на напряжение, и отсюда сделаем вывод, что мощность усиленного сигнала на нагрузке транзистора $P_{н\sim} = I_{к\sim} \cdot U_{н\sim}$. Добиваясь от транзисторного усилителя большой выходной мощности, мы, к сожалению, никак не можем влиять на переменную составляющую коллекторного тока $I_{к\sim}$: она зависит от того, что дает источник сигнала, и от того, во сколько раз базовый ток усиливается в транзисторе (B). А вот второй сомножитель выходной мощности — переменное напряжение на нагрузке $U_{н\sim}$ — целиком в наших руках.

Человек, который всегда помнит закон Ома, пользуясь формулой $U = I \cdot R$, сумеет повысить $U_{н\sim}$ простейшим способом — нужно лишь увеличить сопротивление нагрузки $R_н$. Но конечно, делать это, как и вообще все



на свете, можно лишь до определенного предела. Пытаясь выяснить, что именно и в какой степени ограничивает сопротивление нагрузки, мы входим в область конструирования и налаживания практических схем транзисторных усилителей. Но прежде чем сделать первый шаг в эту огромную и интересную область, несколько слов об основных типах транзисторов и некоторых их параметрах.

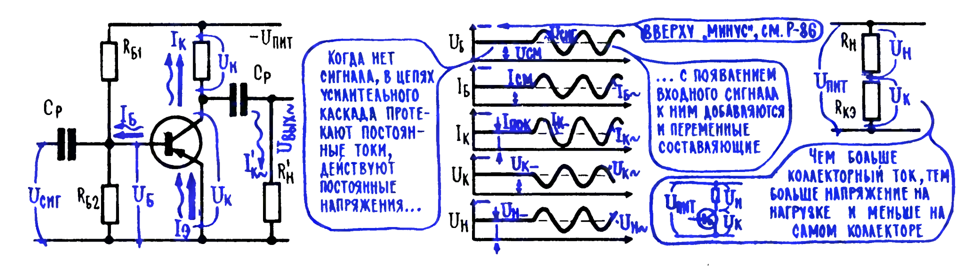
Т-150

Т-150. Важные параметры транзисторов: допустимые токи, напряжения, мощности, усиление по току *B*, неуправляемый ток коллектора $I_{ко}$, граничная частота $f_{гр}$. Допустимые параметры для данного типа транзисторов — предельно допустимый коллекторный ток $I_{к\text{-}доп}$, допустимые напряжения между коллектором и эмиттером $U_{кэ\text{-}доп}$ и между базой и эмиттером $U_{бэ\text{-}доп}$, допустимая мощность в коллекторной цепи $P_{к\text{-}доп}$,— приводятся в справочных таблицах (С-15) и имеют тот же смысл, что и любые допустимые параметры — их ни в коем случае нельзя превышать. Если, например, к входной цепи транзистора П606 к участку база — эмиттер подвести напряжение более 0,5 *В*, то может произойти электрический пробой, разрушение эмиттерного *pn*-перехода (пример подобран не случайно — из мощных транзисторов П606 один из самых «слабых», у него $U_{бэ\text{-}доп}$ меньше, чем у большинства других приборов этого класса; С-15). Точно так же можно вывести из строя коллекторный *pn*-переход транзистора, превысив напряжение на коллекторе. Например, напряжение питания, которое подводится к транзистору П39, не может быть больше 10 *В*.

Все ограничения токов и напряжений в транзисторе чаще всего связаны с их тепловым режимом. Полупроводники очень чувствительны к повышению температуры. Нагрев приводит к резкому увеличению числа собственных носителей заряда, лавинообразно нарастают созданные этими зарядами токи, которые в итоге и производят разрушительную работу — соединяют накоротко, сваривают зоны транзистора, превращают его в простой проводник. Или наоборот — разрушают материал настолько, что образуется разрыв цепи. Обе эти разновидности неустранимых повреждений легко обнаружить омметром (Р-83; 9, 10). Но еще проще сделать так, чтобы повреждений этих не было совсем.

Особенно велики опасности разрушительного перегрева в коллекторной цепи, где создается «мощная копия» сигнала, циркулируют довольно большие токи и действуют немалые напряжения. Для коллекторной цепи указывают предельные токи и напряжения, а также предельную мощность. И вот почему. Чаще всего бывает так, что нельзя одновременно установить предельно допустимый коллекторный ток $I_{к\text{-}доп}$ и предельно допустимое напряжение на коллекторе $U_{к\text{-}доп}$. Это легко увидеть на конкретном примере. Для транзистора П214 допустимый коллекторный ток — 5 *А*, допустимое напряжение на коллекторе — 60 *В* (С-15). Но если установить режим транзистора, при котором одновременно будут достигнуты обе эти величины, то в коллекторной цепи выделится мощность $P_к = 5\ А \cdot 60\ В = 300\ Вт$. А для транзистора П214 допускается всего лишь $P_{к\text{-}доп} = 10\ Вт$. Поэтому, если установить предельно допустимый ток 5 *А*, то напряжение на коллекторе не должно быть больше, чем 2 *В* ($P_к = 5\ А \cdot 2\ В = 10\ Вт$), а если установить предельно допустимое напряжение 60 *В*, то ток не должен превышать 0,17 *А*, то есть 170 *мА* ($P_к = 60\ В \cdot 0{,}17\ А = 10\ Вт$).

На вольт-амперной характеристике коллекторной цепи (Р-88) есть дугообразная линия, граница допустимой мощности. Эта линия появилась как результат простых арифметических операций: определялись такие пары тока $I_к$ и напряжения $U_к$, при которых $P_к = I_к \cdot U_к$ не превышает допустимую



мощность $P_{\text{к-доп}}$. Точно такая же граница допустимых токов и напряжений может быть построена для любого реального транзистора.

Допустимые параметры для мощных транзисторов приводятся в расчете на то, что они работают с внешними радиаторами (К-15), которые отводят тепло, предотвращают повышение температуры полупроводниковых материалов. При работе без радиаторов предельные параметры мощных транзисторов снижаются, как правило, в десять — двадцать раз. Если, скажем, с радиатором транзистор может создать «мощную копию» сигнала в 10 *Вт*, то без радиатора он едва вытерпит режим, при котором выходная мощность один ватт, а то и полватта.

О важнейшем усилительном параметре транзистора, коэффициенте усиления по току *B*, мы уже говорили (Т-144). Стоит лишь добавить, что измерение *B* может производиться в разных схемах и режимах. Если входить в тонкости, то насчитывается несколько разных значений этого коэффициента. Мы же ограничимся одним значением *B* — так называемым статическим коэффициентом усиления, который получают, измерив на прямолинейном участке вольт-амперной характеристики постоянный ток $I_б$ и соответствующий ему постоянный ток $I_к$. На К-16 есть схема простейшей приставки к авометру для измерения коэффициента усиления *B*.

Параметр «предельная частота», или, иначе, «граничная частота» $f_{гр}$, тоже не требует особых пояснений. Разные типы транзисторов по-разному работают на разных частотах. Причем граница существует только со стороны высоких частот: если транзистор работает на частоте $f_{гр}$, то он прекрасно работает и на более низких частотах. Граничной обычно считают ту частоту, на которой усилительные способности транзистора ухудшаются примерно на 30 процентов. Правда, при дальнейшем увеличении частоты коэффициент усиления быстро падает, и вскоре транзистор вообще перестает усиливать.

И несколько слов о еще одном важном параметре — неуправляемом коллекторном токе $I_{ко}$. Во всяком полупроводниковом материале, кроме тех свободных зарядов, которые появились с введением донора или акцептора, есть еще и собственные свободные заряды. Их сравнительно немного, но они есть. Причем если примесь создает в полупроводнике только один тип проводимости — только *p* или только *n*, то собственных дырок и электронов в любом проводнике поровну. В зоне *n* собственные свободные электроны смешиваются с примесными, а вот собственные дырки так и живут особняком, создают в зоне *n* небольшую дырочную проводимость. Точно так же в зоне *p* собственные дырки полупроводника теряются в общей массе примесных положительных зарядов, а собственные свободные электроны создают небольшую проводимость *n*-типа.

Пользы от этих собственных свободных зарядов, собственных носителей электрического заряда, нет никакой, а вреда они приносят немало. Они, например, создают ток, когда *pn*-переход закрыт, именно из-за них полупро-

водниковый диод пропускает ток не только в прямом, но и в обратном направлении (Т-133). Неосновных носителей немного, обратный ток через *pn*-переход невелик, но все-таки он есть и нередко доставляет массу хлопот.

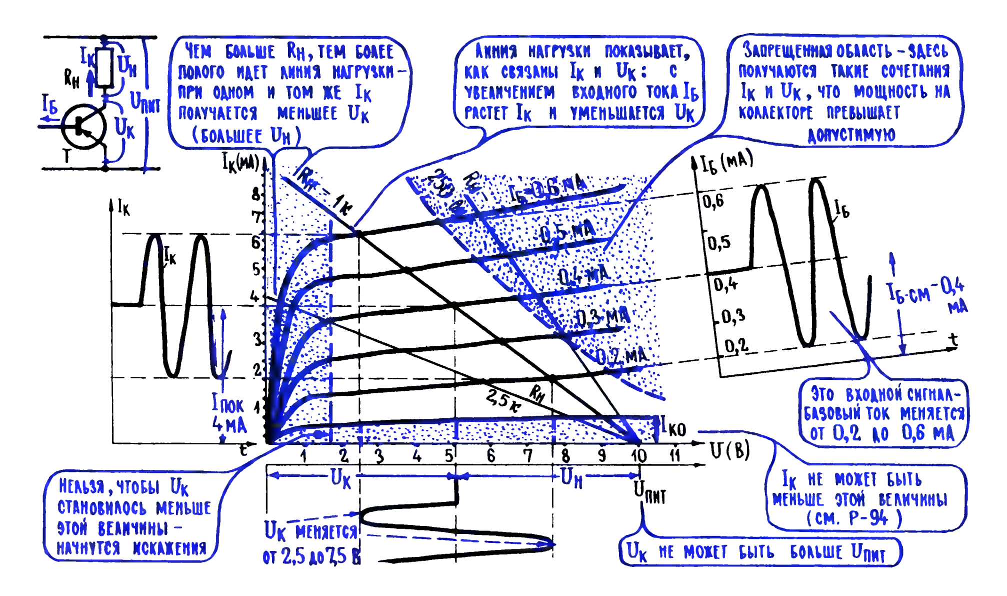
Особенно неприятен обратный ток коллекторного *pn*-перехода, как его называют, неуправляемый коллекторный ток $I_{ко}$ (Р-88). Коллекторный переход должен пропускать к коллектору только те заряды, которые впрыскивает в него база. И когда транзистор закрыт, когда на базе нет напряжения или тем более когда на ней появляется «плюс» и накрепко закрывает эмиттерный переход, никакого коллекторного тока быть не должно. А он есть — собственные носители самого коллектора и базы создают этот никому не подчиняющийся, неуправляемый коллекторный ток $I_{ко}$. И никакими командами с базы сделать коллекторный ток меньше, чем $I_{ко}$, невозможно.

Самое неприятное даже не то, что этот ток есть, а то, что он сильно зависит от температуры. Действительно, появление собственных носителей, собственных свободных зарядов, связано только с тепловыми движениями атомов в кристаллической решетке полупроводника (Т-128). И чем выше температура, тем энергичнее эти движения, тем больше становится собственных носителей. Поэтому-то и меняется с температурой ток $I_{к}$. Изменяясь с температурой, неуправляемый ток сильно влияет на режим всего усилителя (Т-162), и поэтому, выбирая транзистор, стараются, чтобы ток $I_{ко}$ был у него как можно меньше. А там, где влияние тока $I_{ко}$ все же может быть ощутимым, принимают меры, чтобы этот ток как можно меньше влиял на режим усилителя.

Т-151

Т-151. Основные типы транзисторов: высокочастотные и низкочастотные, германиевые и кремниевые, *p-n-p* и *n-p-n* транзисторы малой, средней и большой мощности. Заглянув в справочник по полупроводниковым приборам, можно увидеть там такое огромное множество наименований диодов и транзисторов, что даже страшно становится. К счастью, многие типы полупроводниковых приборов очень похожи, они имеют близкие характеристики и параметры, во многих случаях возможна совершенно безболезненная замена одних приборов другими. Да и вообще диоды и транзисторы можно разбить на несколько групп, внутри которых уже не так-то сложно разобраться, какой прибор от какого и чем отличается. В свое время мы разделили все диоды на плоскостные и точечные. А среди плоскостных диодов можно выделить сравнительно сильноточные приборы, допускающие прямые токи в несколько ампер, и группу приборов, допускающих прямой ток порядка 200—300 *мА*. В этой второй группе диоды различаются в основном только допустимым обратным напряжением, и можно совершенно спокойно заменять один тип диодов другим, если следить за тем, чтобы напряжение, действующее в схеме, не превысило допустимую для данного диода величину.

Нужно сказать, что многообразие типов полупроводниковых приборов иногда получается как бы само собой, как результат выбранного технологического процесса. Действительно, зачем было бы делать семь типов диодов Д7А—Д7Ж, рассчитанные на напряжение 50, 100, 150, 200, 300, 350 и 400 вольт (С-14)? Можно было, казалось бы, ограничиться одним типом Д7Ж, выдерживающим 400 *В*, и использовать его во всех схемах с более низким напряжением. Однако же технология производства этого типа диодов такова, что в каждой партии получаются диоды, которые могут выдержать сравнительно большое напряжение, и такие, что терпят напряжение поменьше. Все эти диоды делят на группы и устанавливают цену на них с таким расчетом, чтобы было невыгодно применять высоковольтный прибор там, где можно обойтись более низковольтным.



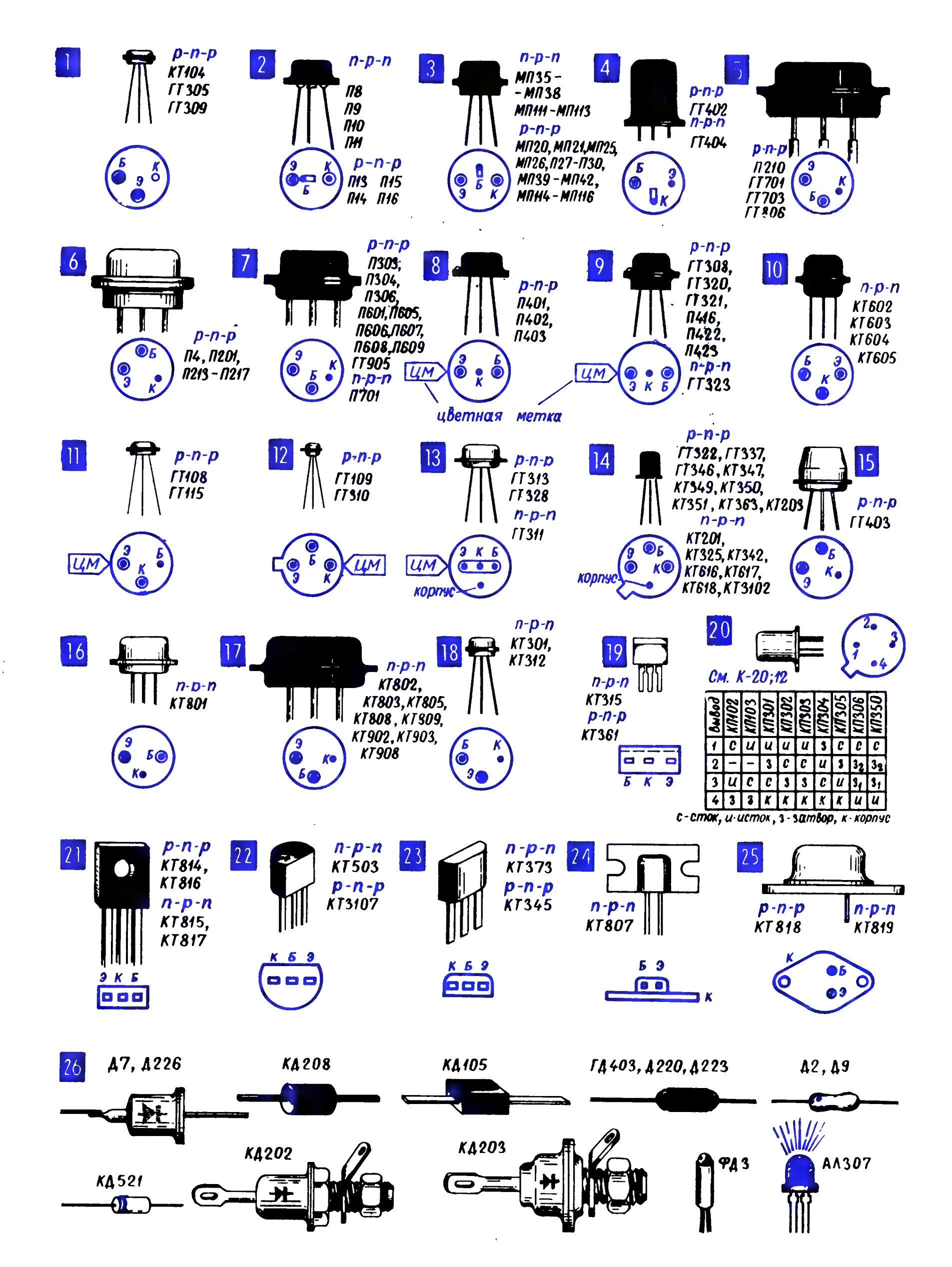
Вот так же нередко появляются разные типы транзисторов в пределах одной группы или одного основного типа приборов. И бывает даже, сами эти основные типы различаются не очень сильно, не больше, наверное, чем разные модели «Жигулей». В качестве примера можно назвать старые транзисторы П13—П16, очень похожие на них более поздние приборы П39—П42, старые П201 и последующие П213—215, а также разные, но в то же время во многом похожие транзисторы П401, П402, П403, П414, П415, П416, П420, П421, П422, П423, ГТ308, ГТ309, ГТ310, ГТ422; они в основном различаются допустимой мощностью $P_{к\text{-}доп}$, что для многих схем несущественно.

Все транзисторы можно разбить на несколько основных групп, которые уже сильно отличаются и по своим возможностям, и по использованию в схемах.

Один из признаков деления — сам материал, из которого сделан транзистор. Кремниевые приборы работают при более высоких температурах, у кремниевых транзисторов при прочих равных условиях удается получить меньшие значения неуправляемого тока $I_{ко}$. Другой признак деления — граничная частота, он делит все транзисторы на две большие группы — низкочастотные и высокочастотные. К первым относят транзисторы с граничной частотой в десятки, в лучшем случае сотни килогерц. А высокочастотные приборы добрались уже до частот в сотни и тысячи мегагерц.

Очень сильно отличаются транзисторы, рассчитанные на получение различной выходной мощности. Их можно условно разбить на две группы — маломощные, у которых $R_{к\text{-}доп}$ около 100—150 *мВт*, и транзисторы средней и большой мощности — у них $P_{к\text{-}доп}$ несколько ватт или несколько десятков ватт. Эти приборы различаются и по электрическим параметрам, и чисто внешне, они никогда не заменяют друг друга. Здесь, наверное, уместно такое сравнение: маломощные транзисторы и мощные похожи не больше, чем юркие «Запорожцы» на многотонные МАЗы.

И наконец, все транзисторы — низкочастотные и высокочастотные, маломощные и мощные, германиевые и кремниевые — можно четко разделить на две группы: транзисторы со структурой *p-n-p* и транзисторы со структурой *n-p-n*. В принципе тип проводимости, структура транзистора мало влияют

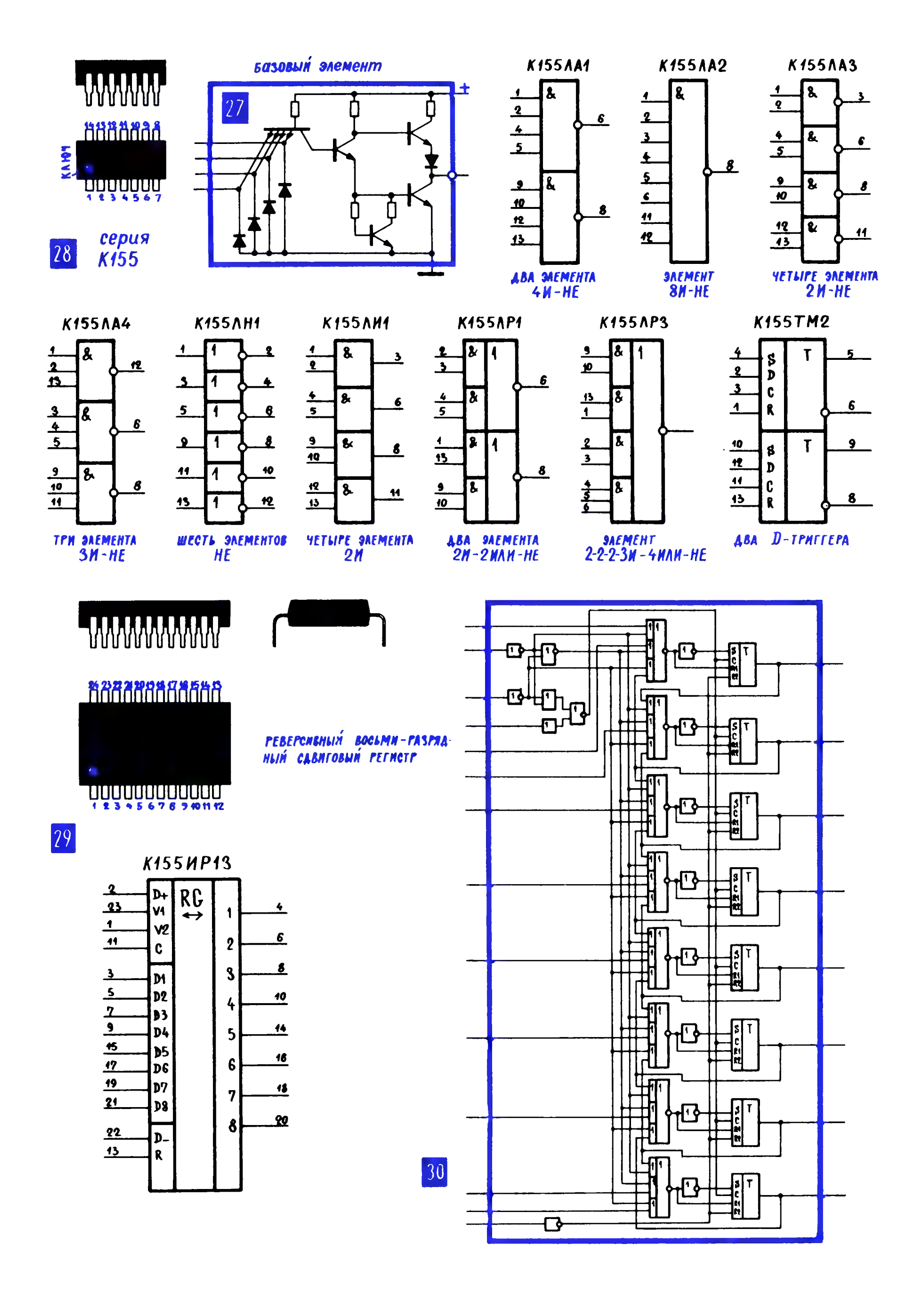


вывод	КП102	КП103	КП301	КП302	КП303	КП304	КП305	КП306	КП350
1	с	и	и	и	и	з	с	с	с
2	—	—	з	с	с	и	з	$з_2$	$з_2$
3	и	с	с	з	з	с	и	$з_1$	$з_1$
4	з	з	к	к	к	к	к	и	и

С-15. ТРАНЗИСТОРЫ

В разные годы существовали разные системы обозначения транзисторов, и многие приборы сохранили свое старое название. Как правило, оно начинается с букв П или МП, за ними стоит число со следующим значением: от 1 до 100 — маломощные германиевые НЧ транзисторы; от 101 до 200 — то же, кремниевые; от 201 до 300 — мощные германиевые НЧ транзисторы, от 301 до 400 — то же, кремниевые; от 401 до 500 маломощные германиевые ВЧ транзисторы; от 501 до 600 — то же, кремниевые; от 601 до 700 мощные германиевые ВЧ транзисторы. Ну, и в конце еще одна буква: разновидность прибора данного типа.

В 1964 году появилась система обозначений полупроводниковых приборов, которая в основных чертах существует и поныне. Первый элемент обозначения говорит о самом полупроводни-



ковом материале: буква Г (цифра 1) означает германий, буква К (цифра 2) — кремний. Второй элемент (буква) означает: Д — диод; Т — транзистор, В — варикап (полупроводниковый конденсатор, емкость меняется с изменением питающего напряжения), Ф — фотоприбор, С — стабилитрон и т. д. У транзисторов третий элемент — трехзначное число — указывает группу прибора:

101—399 маломощные транзисторы (до 0,3 *Вт*), в том числе 101—199 низкочастотные (до 3 *мГц*), 201—299 среднечастотные (до 30 *мГц*) и 301—399 высокочастотные (до 300 *мГц*);

401—699 — транзисторы средней мощности, в том числе 401—499 низкочастотные, 501—599 среднечастотные, 601—699 высокочастотные;

701—999 — мощные транзисторы (больше 1,5 *Вт*), в том числе 701—799 низкочастотные, 801—899 — среднечастотные и 901—999 — высокочастотные.

И опять же, как всегда, последняя буква — конкретный прибор среди транзисторов данного типа.

Приводим данные некоторых типов транзисторов (в квадратных скобках — схема выводов на К-6), в том числе самых «древних», это, в частности, позволит понять старые промышленные и любительские схемы и, в случае необходимости, перевести их на современную элементную базу.

Данные транзисторов, близких по названиям и параметрам, приведены в едином блоке, при этом приняты обозначения: *U* — допустимое напряжение между коллектором и эмиттером в вольтах, *I* — допустимый коллекторный ток в миллиамперах (там, где ток в амперах, рядом с цифрой стоит буква А), *P* — допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе с радиатором и без него в милливаттах (там, где мощность в ваттах, стоит Вт), *B* — статический коэффициент усиления по току, I_0 — обратный ток коллектора в микроамперах, частота *f* в мегагерцах, на которой реальные усилительные свойства транзистора еще остаются достаточно высокими (это неофициальная характеристика, в официальных справочниках приводят граничные частоты по специально оговоренным условиям).

Вначале приводятся данные, характерные для всей данной группы, затем в скобках указаны отклонения от них для отдельных транзисторов. Так, например, обозначение *U* — 20 (А, Б — 30) означает, что для всех приборов данной группы с любыми буквами в конце допускается коллекторное напряжение 20 *В*, кроме приборов с последними буквами А и Б, для которых допускается 30 *В*; обозначение *B* — 10 ÷ 15 (Б, Г — 20 ÷ 30) говорит о том, что у всех приборов данной группы коэффициент усиления по току *B* лежит в пределах от 10 до 15, кроме приборов с последними буквами Б и Г, для которых коэффициент усиления лежит в пределах от 20 до 30.

Во многих случаях данные округлены и приводятся с точностью, приемлемой для любительского конструирования.

Вначале приводятся данные транзисторов *p-n-p*, а затем *n-p-n* и, наконец, полевых транзисторов (Т-303).

И еще одно важное примечание: названия совершенно одинаковых транзисторов могут начинаться с разных букв — П или МП, в этом отражена разница только в их внешнем оформлении, в конструкции корпуса. Во всех названиях приборов группы МП — П указана буква П; в тех случаях, когда в основном выпускались приборы типа МП, эти буквы указаны в скобках перед названием транзисторов.

Германиевые *p-n-p* транзисторы

П4 [6]: *U* — 50 (В — 35, Б — 60); *I* — 5 *А*; *p* — 25/3 *Вт* (А — 20/2 Вт); *B* — 15 ÷ 35 (А — 5 ÷ 20, Д — 30 ÷ 70); I_0 — 500; *f* — 0,15. Корпус имеет приливы с отверстиями для крепления.

П13, П14, П15, П16 [2]: *U* — 15 (П14А, П14Б — 30); *I* — 150; Р — 150 (П16 все — 200); *B* — 20 ÷ 40 (П13 — 12), П16Б — 45 ÷ 100; *f* — 0,5 ÷ 1 — (П15, П15А, П16Б — 2).

(МП) П20, П21 [3]: *U* — 20 (П21 все — 35, кроме Г, Д — 30); *I* — 300 (П21, П21А — 500); *P* — 150, *B* — 50 ÷ 150 (П20Б, П21Д — 60 ÷ 200); I_0 — 50; *f* — 1 ÷ 1,5.

(МП) П25, П26 [3]: *U* — 40 (П26 все — 70); *I* — 400; *P* — 200; *B* — 10 ÷ 25 (А — 20 ÷ 50, Б — 30 ÷ 80); I_0 — 150; *f* — 0,2 ÷ 0,5.

П27, П28 [3]: *U* — 5; *I* — 6; *P* — 30; *B* — 20 ÷ 200; I_0 — 3; *f* — 1 (П28—5).

(МП) П39, П40, П41, П42 [3]: *U* — 30 (П40А — 30, П42 все — 15); *I* — 150; *P* — 150 (П42 все — 200); *B* — 20 ÷ 60 (П39 — 12, П42Б — 50 — 100); I_0 — 15 (П42 все — 25); *f* — 0,5 ÷ 1.

П201, П202, П203 [6]: *U* — 30 (П202, П203 — 55); *I* — 1,5 *А* (П202, П203 — 2 *А*); *P* — 10/1 *Вт*; *B* — 20 ÷ 40; I_0 — 400; *f* — 0,1.

П210 [5]: *U* — 40 (П210А — 65); *I* — 12 *А*; *P* — 45/2 (П210, П210А — 60/10); *B* — 10 ÷ 15; I_0 — 8 — 15 *мА*; *f* — 0,1.

П213, П214, П215 [6]: *U* — 45 (П214 все — 60, П215 — 80); *I* — 5 *А*; *P* — 10/1,5 *Вт*; *B* — 20 ÷ 150 (П213Б, П214Б — 20 ÷ 150; П214*А* — 50 ÷ 150; I_0 — 150 ÷ 300 (П213А, П214В — 1 ÷ 1,5 *мА*); *f* — 0,15.

П216, П217 [6]; U — 35 (П216Г, Д — 50, П217, П217А, Б — 45, П217В, Г — 60); I — 7,5 *А*; P — 24/1,5 *Вт;* B — 15 ÷ 40 (П216Б — 10, П216Г — 5, П217А — 20 ÷ 60); I_0 — 1,5 — 2,5 *мА* (П217 все — 0,4 *мА*); f — 0,1.

П401, П402, П403 [8]: U — 10, I — 20, P — 100; B — 16 ÷ 250; I_0 — 5; f — 30 (П402 — 60, П403, П403А — 120).

П414, П415, П416, П420, П421, П422, П423 [9]: U — 10 (П416 все — 12); I — 10; P — 100 (П420 — П423 все — 50); B — 25 ÷ 100 (П420, П421, П422А, П423А — 15, все другие А—60—120, все Б — 100 — 200); I_0 — 3 ÷ 5; f — 60 (П415 все, П416Б—120, П420, П421—30).

П601, П602 [7]: U — 25; I — 1 *А; P* — 3/0,5 *Вт; B* — 40 ÷ 100 (АИ — 40 ÷ 250, П601 — 20); I_0 — 100 ÷ 200; f — 30. Напряжение между эмиттером и базой до 0,5 *В*.

П605, П606, П607, П608, П609 [7]: U — 25 (П605 все, П608Б, П609Б — 40); I — 0,3 *А* (П605, П606 — 1,5 *А*); P — 1,5/0,5 (П605, П606 3/0,5); B — 20 ÷ 120 (П608А, П609 все — 80 ÷ 240); I_0 — 300 (П605, П606 — 2 *мА*); f — 30 (П607—60, П608—90, П609—120). Напряжение между эмиттером и базой не более 0,5 *В*.

ГТ108 [11]: U — 10; I — 50; P — 75; B — 25 ÷ 60 (В — 60 — 130, Г — 110 — 250); I_0— 10; f — 0,5 ÷ 1.

ГТ109 [12]: U — 6; I — 20; P — 30; B — 30 ÷ 80 (А — 20 ÷ 60, ЕЖ — 50 ÷ 100, В — 60 ÷ 130, Г — 110 ÷ 250); I_0 — 5; f — 1.

ГТ115 [11]· U — 20; (Б, Г — 30); I — 30; P — 50; B — 20 ÷ 80 (В, Г — 60 ÷ 150, Д — 125—250); I_0 — 40, f — 1.

ГТ305 [1]· U — 15; I — 40; P — 75; B — 25 ÷ 40 (Б — 50 ÷ 500, В — 40 ÷ 360); I_0 — 5; f — 20.

ГТ308 [9]: U — 12; I — 50; P — 150; B — 20 ÷ 75 (Б—50 ÷ 120, В — 80 ÷ 200); I_0 — 5; f — 120 (А — 90).

ГТ309 [1]: U — 10; I — 10; P — 50; B — 20 ÷ 70 (Б, Г, Е — 60 ÷ 180), I_0 — 5; f — 60 (Д, Е — 30, А, Б — 90).

ГТ310 [12]: U — 12; I — 10; P — 20; B — 20 ÷ 70 (Б, Д — 60 ÷ 180); I_0 — 5; f — 80 (В — 120, А, Б — 160).

ГТ313 [13]: U — 10; I — 10; P — 100; B — 20 ÷ 250; I_0 — 5; f — 450 (Б—650).

ГТ320 [9]: U — 9 (Б — 11, А — 12); I — 150; P — 200; B — 80 ÷ 250 (Б — 50 ÷ 160, А — 20 ÷ 80); I_0 — 10; f — 120 (Б — 190, В — 250).

ГТ321 [9]: U — 40 (А, Б, В — 50); I — 200; P — 160; B — 20 ÷ 60 (Б, Д — 40 ÷ 120, В, Е— 80 ÷ 200); I_0 — 500; f — 1.

ГТ322 [14]· U — 10 (Б—6); I — 5; P — 50; B — 20 ÷ 70 (Б, Г, Е — 50 ÷ 120); I_0 — 4; f — 25.

ГТ328 [13]: U — 15; I — 10; P — 50; B — 20 ÷ 200 (В — 10 ÷ 50); f_0 — 10; f — 300 (А — 400).

ГТ346 [14]: U — 15; I — 10; P — 40; B — 10; I_0 — 10; f — 550 (А — 700).

ГТ402 [4]: U — 25 (Ж, И — 40); I — 500; P — 600; B — 30 ÷ 80 (Ж, И — 60 ÷ 150); I_0 — 25; f — 1.

ГТ403 [15]: U — 45 (А, Б — 30, Ж, И — 60), 51; I — 1,25 *А*; P — 4/0,65 *Вт; B* — 20 ÷ 60 (Б, Г, Д, И — 50 ÷ 150); I_0 — 50; f — 0,008.

ГТ701 [5]: U — 55; I — 12 *А*; P — 50/2 *Вт; B* — 10; I_0 — 6; f — 0,05.

ГТ703 [5]: U — 20 (В, Г — 30, Д — 40); I — 3,5 *А*; P — 15/1,5; B — 30 ÷ 70 (Д — 20 ÷ 45, Б, Г — 50 ÷ 100); I_0 — 500; f — 0,01.

ГТ806 [5]: U — 75 (Г — 50, Б — 100, В — 120, Д — 140); I — 15 *А*; P — 30/2; B — 10 ÷ 100; I_0 — 15 *мА*; f — 10.

ГТ905 [7]: U — 75 (Б — 60); I — 3*А*; P — 6/1,2 *Вт*; B — 35 ÷ 100; I_0 — 2 *мА*; f — 20.

Германиевые *n-p-n* транзисторы

П8, П9, П10, П11 [2]: U — 15 (П10 — 30); I — 20; P — 150, B — 15 ÷ 50 (П8, П9 — 12, П11А — 45 ÷ 90); I_0 — 30; f — 0,5 ÷ 1 (П11, П11А — 2).

(МП) П35, П36, П37, П38 [3]: U — 15 (П37А—30); I — 20; P — 150; B — 15 ÷ 45 (П35—10 ÷ 125, П38А — 45 ÷ 100); I_0 — 30; f — 0,5 ÷ 1 (П38А — 2).

ГТ311 [13]: U — 12 (И — 10); I — 50; P — 150; B — 15 ÷ 80 (Ж — 50 ÷ 200, И — 100 ÷ 300); I_0 — 10; f — 400 (И — 600).

ГТ404 [4]: U — 25 (В, Г — 40); I — 0,5 *А*; P — 0,6 *Вт*; B — 30 ÷ 80 (Б, Г — 60 ÷ 150); I_0 — 25; f — 1.

Кремниевые *p-n-p* транзисторы

(МП) П104, П105, П106, П114, П115, П116 [3]: U — 15 (П105, П115—30, П106, П116 — 60); I — 10; P — 150; B — 9 ÷ 45 (П106, П116 — 15 ÷ 100); I_0 — 10 (П104, П105, П106—0,4); f — 0,1 — 0,5.

КТ104 [1]: U — 15 (А, Г — 30); I — 50; P — 150; B — 15 ÷ 80 (А — 9 ÷ 36, В — 40 ÷ 160); I_0 — 1; f — 5.

П302, П303, П304, П306 [7]: U — 60 (П302 — 35, П304, П306А — 80); I — 0,5 *А* (П306, П306А — 0,4 А); P — 10/1 *Вт*; B — 5 ÷ 10 (П306 — 7 ÷ 30, П306А — 5 ÷ 50); I_0 — 100; f — 0,05 (П302 — 200, П303, П303А — 100).

КТ203 [14]: U — 15 (Б — 30, А — 60); I — 10; P — 150; B — 30 ÷ 200 (А — 9); I_0 — 1; f — 5.

КТ305 [14]: U — 15; I — 40; P — 75; B — 40 ÷ 500 (А — 25 ÷ 40), I_0 — 4; f — 20.

КТ326, КТ337, КТ347, КТ349, КТ350, КТ351, КТ363 [14]: U — 15 (КТ347Б — 9, КТ347В — 6); I — 30; P — 150; B — 30 ÷ 400 (КТ326, КТ337, КТ363 — 20 ÷ 160); I_0 — 1; f — 100 (КТ326 — 400, КТ363А — 1200, КТ363Б — 1500).

КТ345 [23]: U — 20; I — 200; B — 20 (Б — 50, В — 70); I_0 — 1; f — 350.

КТ361 [19]: U — 35 (А — 25, Б — 20, В, Д — 40); P — 150; B — 20 ÷ 90 (Б, Г, Е — 50 ÷ 350); I_0 — 1; f — 250.

КТ814 [21]: U — 25 (Б — 40, В — 60, Г — 80); I — 1,5 *А*; P — 10/1 *Вт*; B — 40 (Г — 30); I_0 — 50; f — 3.

КТ816 [21]: U — 25 (Б — 45, В — 60, Г — 80); I — 3*А*; P — 25/1 *Вт*; B — 20 (Г — 15); I_0 — 100; f — 3.

КТ818 [25]: U — 25 (Б — 40, В — 60, Г — 80); I — 10 *А*; P — 60/1,5 *Вт*; B — 15 (В, Г — 12); I_0 — 1 *мА*; f — 3.

КТ825 [25]: U — (Г — 90, Е — 30); I — 20А; Р — 160; В — 1500; f — 1.
КТ837 [21]: U — (А — В, Л — Н — 80; Г — Е, П — С — 60; Ж, П, К, Т, Ф — 45); I — 7,5 *А*; P — 30 *Вт*; B : 40 ÷ 150; I_0 — 10.

КТ3107 [22]: U — 25 (В, Г, Д, К — 30, А, Б, И — 50); I — 100; P — 250; B — 70 ÷ 140 (Б, Г, Е — 120 ÷ 220, Д, Ж, И — 180 ÷ 460, К, Л — 380 ÷ 800); I_0 — 0,1; f — 200.

(МП) П111, П112, П113 [3]: U — 10 (П111, П111Б — 20); I — 100; P — 150; B — 10 ÷ ÷ 45 (П113 — 45 ÷ 105); I_0 — 3; f — 0,5 ÷ 1.

КТ201 [14]· U — 10 (А, Б — 20); I — 20; P — 150; B — 20 ÷ 90 (Г — 70 ÷ 210); I_0 — 1; f — 10.

КТ301 [18]· U — 20; I — 10; P — 150; B — 20 ÷ 120 (Б, Г — 10 ÷ 32, Ж — 80 ÷ 300); I_0 — 10; f — 30 (Г, Д, Е, Ж — 60).

КТ306 [7]· U — 10; I — 30; P — 150; B — 20 ÷ 120 (КТ306Г — 40 ÷ 200, КТ316Д — 60 ÷ ÷ 300); I_0 — 0,5; f — 100.

КТ312 [18]: U — 20 (Б — 35); I — 30; P — 225; B — 10 ÷ 100 (В — 50 ÷ 280); I_0 — 10; f — 20.

КТ315 [19]: U — 15 (А — 20, Г — 25, В — 30); I — 100; P — 150; B — 20 ÷ 90 (Б, Г, Е — 50 ÷ 350); I_0 — 1; f — 100.

КТ316 [7]· U — 10; I — 30; P — 150; B — 20 ÷ 120 (А — 20 ÷ 60, Д — 60 ÷ 300); I_0 — 0,5; f — 100.

КТ325 [14]: U — 15; I — 60; B — 30 ÷ 90 (Б — 70 ÷ 210, В — 160 ÷ 400); I_0 — 0,5; f — 100.

КТ339 [20] (1 — база, 2 — эмиттер, 3 — коллектор, 4 — корпус)]· U — 25 (Б — 12); I — 25, P — 250; B — 15 ÷ 25; I_0 — 1; f — 150 (В — 250).

КТ342 [14]: U — 10 (Б — 25, А — 30, Г — 60); I — 50; P — 250; B — 50 ÷ 150 (А — 100 ÷ 250; Б — 200 ÷ 500, B — 400 ÷ 1000); I_0 — 0,5; f — 300.

КТ373 [23]: U — 25 (В — 10, Г — 60); I — 50; Р — 200; B — 50 ÷ 125 (А — 100 ÷ 250, Б — 200 ÷ 600, В — 500 ÷ 1000); I_0 — 0,5; f — 300.

КТ503 [22]: U — 25 В, Г — 40, Д — 60, Е — 80; I — 30; P — 500; B — 40 ÷ 120 (Б, Г — 800 ÷ 240); f — 5.

КТ602 [10]: U — 80 (А, Б — 120); I — 75; P — 2,8/0,8 *Вт;* B — 15 ÷ 80; I_0 — 70; f — 50.

КТ603 [10]: U — 10 (В, Г — 15, А, Б — 30); I — 300; P — 0,5; B — 15 ÷ 80 (Е — 60 ÷ 200); I_0 — 10 (Д, Е — 1); f — 50.

КТ604, КТ605, КТ611 [10]: U — 250 (КТ611—150); I—200; P — 3/0,8 *Вт* (КТ605—0,4 *Вт*); B — 10 ÷ 40 (Б — 20 ÷ 120); I_0 — 100; f — 20 (КТ611 — 60).

КТ608 [10]: U — 60; I — 400; P — 0,5 *Вт;* B — 20 ÷ 80 (Б — 40 ÷ 160); I_0 — 10; f — 50.

КТ616, КТ617, КТ618 [14]: U — 20; I — 400; P — 0,3 *Вт* (КТ617—0,5); B — 25 ÷ 40; I_0 — 10; f — 50.

КТ618 [14]: U — 250; I — 100; P — 0,5; B — 25 ÷ 40; I_0 — 10; f — 10.

КТ801 [16]: U — 60 (А — 80); I — 2 *А*; P — 5/0,5 *Вт;* B — 13 ÷ 50 (Б — 20 ÷ 100); I_0— 10 *мА;* f — 5.

КТ802 [17]: U — 130; I — 5 *А*; P — 50/4 *Вт;* B — 15 ÷ 35; I_0 — 60 *мА;* f — 5.

КТ803 [17]: U — 60; I — 10 *А*; P — 60/4 *Вт;* B — 10 ÷ 70; I_0 — 50 *мА;* f — 5.

КТ805 [17]: U — 80; I — 5 *А*; P — 30/2 *Вт;* B — 15; I_0 — 100 *мА;* f — 5.

КТ807 [24]. [Металлическое основание — коллектор; если смотреть со стороны пластмассового корпуса, направив выводы вниз, то слева — база, справа — эмиттер]: U — 100; I — 0,5 *А*; P — 10/1 *Вт;* B — 15 ÷ 45 (Б — 30 ÷ 100); I_0 — 15 *мА;* f — 5.

КТ808 [17]: *U* — 120; *I* — 10 *А*; *P* — 50/4 *Вт; B* — 15; I_0 — 3 *мА; f* — 5.

КТ809 [17]: *U* — 400; *I* — 3 *А*; *P* — 40/3 *Вт; B* — 15 ÷ 100; I_0 — 6 *мА; f* — 5.

КТ815 [21]: *U* — 25 (Б — 40, В — 60, Г — 80); *I* — 1,5*А; P* — 10/1 *Вт; B* — 70; I_0 — 50; *f* — 3.

КТ817 [21]: *U* — 25 (Б — 45, В — 60, Г — 80); *I* — 3 *А*; *P* — 25/1 *Вт; B* — 20 (Г — 15); I_0 — 100; *f* — 3.

КТ819 [25]: *U* — 25 (Б — 40, В — 60, Г — 80); *I* — 10 *А*; *P* — 60/1,5 *Вт; B* — 15 (В, Г — 12); I_0 — 1 *мА; f* — 3.

КТ826 [25]: *U* — 700; *I* — 1 *А*; *P* — 15; *B* — 10; *f* — 1.

КТ827 [25]: *U* — 100 (Б — 80, В — 60); *I* — 20 *А*; *P* — 125; *B* — 6000; *f* — 10.

КТ828 [25]: *U* — 800 (Б — 600); *I* — 5 *А*; *P* — 50; *B* — 4; *f* — 1.

КТ832 [25]: *U* — 1000 (Б — 800); *I* — 0,1 *А*; *P* — 10; *B* — 10; *f* — 2.

КТ834 [25]: *U* — 500 (Б — 450, В — 400); *I* — 15 *А*; *P* — 100; *B* — 500; *f* — 1.

КТ838 [25]: $U_{имп}$ — 1500; *I* — 5 *А*; *P* — 12,5; *B* — 3; *f* — 1.

КТ840 [25]: *U* — 400 (Б — 350); *I* — 6 *А*; *P* — 60; *B* — 30; *f* — 1.

КТ902, КТ903 [17]: *U* — 60; *I* — 5 *А* (КТ903 —3 *А*); *P*—30/2 *Вт; B* — 15 (КТ903А — — 15 ÷ 70, Б — 40 ÷ 180); I_0 — 10 *мА; f* — 5.

КТ940 [21]: *U* — 160 (А — 300, Б — 250); *I* — 50; *P* — 10/0,5 *Вт; B* — 25; *f* — 50.

КТ3102 [14]: *U* — 20 (А, Б — 50, В, Д — 30); *I* — 100; *P* — 250; *B* — 150 ÷ 200 (Б, В, Д — 200 ÷ 500, Г, Е — 400 ÷ 1000); I_0 — 0,05; *f* — 150.

Полевые транзисторы

Основная характеристика усилительных способностей полевого транзистора — крутизна *S* характеристики стокового тока в миллиамперах на вольт *мА/В*. Крутизна показывает, на сколько миллиампер меняется ток в цепи исток — сток (он аналогичен коллекторному току обычного транзистора) при изменении напряжения между истоком и затвором на один вольт. Это напряжение чем-то напоминает управляющий сигнал на базе обычного транзистора; основное различие в том, что в цепи затвора практически нет тока: подобно электронной лампе затвор управляет током, не притягивая, а отталкивая заряды, и потому, если на сток (аналог коллектора) подается «плюс», то на затвор (аналог базы) подается «минус»; и наоборот, если на сток подается «минус», то на затвор — «плюс». В некоторых типах полевых транзисторов (например, КП-304) на затвор подается отпирающее напряжение, то есть той же полярности, что и на сток.

Ниже приводятся некоторые параметры нескольких полевых транзисторов: *U* — допустимое напряжение между истоком и стоком в вольтах, $U_{зи}$ — допустимое напряжение на затворе относительно истока (аналог эмиттера в вольтах), *I* — допустимый стоковый ток в *мА*, I_0 — стоковый ток в *мА* (при нулевом напряжении на затворе относительно истока), *P* — допустимая мощность, рассеиваемая на стоке в *мВт*, *S* — крутизна *мА/В*.

Внешний вид и таблица выводов полевых транзисторов, данные которых здесь приводятся, показаны на К-6; 20; здесь приняты такие сокращения: и — исток, с — сток, з — затвор, к — корпус прибора. Транзисторы КП102 выпускались также в корпусе транзистора КТ315 (К-6; 19), при этом вывод «и» занял место базы, вывод «з» — коллектора и вывод «с» — место вывода эмиттера.

Транзисторы КП306 и КП350 имеют по два управляющих электрода, по два затвора (подобно гептоду, электронной лампе, имеющей две управляющих сетки; Р-91), которые в таблицах и на рисунках помечены индексами 1 и 2.

Чтобы защитить полевой транзистор от статического электричества, которое даже в небольших количествах опасно для прибора (полевой транзистор, например, может выйти из строя, если случайно коснуться его выводов слегка наэлектризовавшимся рукавом рубашки), выводы на время монтажа закорачивают, обматывают тонкой медной проволокой без изоляции (К-18).

Полевые транзисторы с каналом *p*-типа
(на стоке «минус», а на затворе «плюс» относительно истока)

КП102: U — 15; I_0 — 0,2 ÷ 1 (И — 0,7 ÷ 1,8, К — 1,3 ÷ 3, Л — 2,4 ÷ 6); $U_{зи}$ — 10; S — 0,2 ÷ 1 (К, Л, М — 1 ÷ 4,4).

КП103: U — 10; P — 120; I_0 — 0,3 ÷ 4 (Л, М — 2,7 ÷ 12, К — 1 ÷ 5); S — 0,4 ÷ 3 (К — 1 ÷ 3, Л, М — 1,2 ÷ 4,4).

КП301: U — 20; $U_{зи}$ — 30; I — 15; P — 200; S — 1.

КП304: U — 25; $U_{зи}$ — 30; I — 30; P — 200; S — 4.

Полевые транзисторы с каналом *n*-типа
(на стоке «плюс», а на затворе «минус» относительно истока)

КП302: U — 20; $U_{зи}$ — 10; I — 24 (Б, В — 43); P — 300; S — 5 — 7.

КП303: U — 25; $U_{зи}$ — 30; I — 20; P — 200; S — 1 ÷ 4 (В, Д, И — 2 — 6).

КП305: U — 15; $U_{зи}$ — 15; I — 15; P — 150; S — 4 ÷ 10.

КП306: U — 20; $U_{зи}$ — 25; I — 20; P — 150; S — 3 ÷ 8.

КП350: U — 15; $U_{зи}$ — 15; I — 30; P — 150; S — 2 ÷ 10.

С-16. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Ассортимент выпускаемых промышленностью интегральных схем весьма широк, и это вполне объяснимо: даже из небольшого набора дискретных деталей можно собрать очень большое число разных электронных блоков и каждый такой блок можно представить отдельной микросхемой. Правда, принимаются меры, чтобы делать как можно более универсальные микросхемы, и идут на то, чтобы сложные микросхемы решали и свои сложные задачи, и задачи более простые, для которых можно было бы сделать отдельную более простую микросхему. Но даже и при таком подходе приходится выпускать очень много разных микросхем, сотни и тысячи типов.

Разобраться в океане интегральных схем непросто, для этого прежде всего нужно знать, как и на какие группы они разбиты, какие особенности микросхемы отражены в ее названии.

Все интегральные схемы, как, впрочем, и все электронные схемы вообще, делятся на **две большие группы** — дискретные (цифровые) и аналоговые. Более того, сейчас всю радиоэлектронику и работающих в этой сфере специалистов принято относить к одной из двух огромных областей — цифровой и аналоговой технике.

В дискретных схемах идет обработка сигналов, которые могут иметь лишь некоторые фиксированные, дискретные значения. Примером такой системы может служить автомат для продажи газированной воды (Т-267. Р-154; 1, 2), который, как и многие другие автоматы, оперирует ограниченным количеством дискретных электрических сигналов — «монета опущена», «вода налита», «сиропа нет» и т. п. Типичный представитель дискретной техники — электронная вычислительная машина (Т-270 — Т-278), где сигнал имеет лишь два дискретных значения — импульс (1) и пауза (0).

Аналоговая техника оперирует сигналами, уровень которых (или другие параметры, например частота) может меняться плавно, непрерывно, приобретая в процессе этих изменений бессчетное множество разных значений. Примером аналоговых сигналов могут служить непрерывно меняющиеся и приобретающие разные значения звук и его электрические копии — токи в цепях микрофона, усилителя звуковой частоты и громкоговорителя.

Две основные группы интегральных схем — дискретные и аналоговые,— к сожалению, не обозначены в их названиях, специалисты просто знают и помнят, к какой группе относится та или иная серия интегральных схем. Каждая серия имеет свое собственное название (например, серия К140, К145, К580, КР143 и т. д.) и объединяет большое количество приборов (до нескольких десятков), близких по назначению и некоторым важным характеристикам. В то же время внутри серии приборы могут очень сильно различаться как по своей сложности, так и по выполняемым функциям. Буква «К», с которой начинается название серии, говорит о том, что микросхема предназначена для широкого применения, а вторая буква, если она есть, указывает тип корпуса, в котором находится кристалл. После первой буквы или первых букв названия следует трехзначное число — это и есть собственное имя серии микросхем. И обычно, обозначая серию, называют только это число. Так и говорят — «140-я серия», «155-я серия», «580-я серия» и т. д.

Если первая цифра в названии серии 1, 5, 6 или 7, то микросхема полупроводниковая, монолитная (Т-303), а если первая цифра 2, 4 или 8, то микросхема гибридная.

За трехзначным числом, называющим серию микросхем, следуют две буквы, они обозначают специальность микросхемы, ее функциональное назначение. Вот некоторые из этих буквенных обозначений:

Г — генераторы: ГС — гармонические (синусоидальных сигналов), ГГ — прямоугольных сигналов, ГЛ — линейно изменяющихся сигналов, ГФ — сигналов специальной формы, ГП — прочие.

Д — детекторы: ДА — амплитудные, ДИ — импульсные, ДС — частотные, ДП — прочие.

К — коммутаторы и ключи: КТ — тока, КН — напряжения, КП — прочие.

Л — логические элементы: ЛИ — элемент И, ЛН — элемент НЕ, ЛЛ — элемент ИЛИ, ЛА — элемент И-НЕ, ЛР — элемент И-ИЛИ-НЕ, ЛК — элемент И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ, ЛП — прочие.

Х — схемы, выполняющие одновременно несколько функций: ХА — аналоговые, ХЛ — цифровые, ХК — комбинированные.

Н — наборы элементов: НД — диодов, НТ — транзисторов, НЕ — конденсаторов, НК — комбинированные.

П — преобразователи сигналов: ПС — частоты, ПД — напряжения или тока, ПА — аналого-цифровые, ПВ — цифро-аналоговые, ПР — код-код.

Е — схемы источников вторичного питания: ЕВ — выпрямители, ЕМ — преобразователи, ЕН — стабилизаторы напряжения непрерывные, ЕК — стабилизаторы напряжения импульсные.

Т — триггеры: ТВ — универсальные, ТР — с раздельным запуском, ТМ — с задержкой, ТТ — счетные, ТД — динамические, ТЛ — Шмитта.

У — усилители: УВ — высокой частоты, УР — промежуточной частоты, УН — низкой частоты, УК — широкополосные, УИ — импульсных сигналов, УТ — постоянного тока, УД — операционные.

Ф — фильтры: ФВ — верхних частот, ФН — нижних частот, ФЕ — полосовые.

А — формирователи: АГ — импульсов прямоугольной формы, АФ — импульсов специальной формы.

Р — схемы запоминающих устройств: РУ — оперативных, РТ — постоянных, РР — постоянных с возможностью электрического перепрограммирования, РФ — постоянных с ультрафиолетовым стиранием и электрической записью.

И — схемы цифровых устройств: ИР — регистры, ИМ — сумматоры, ИЕ — счетчики, ИВ — шифраторы, ИД — дешифраторы, ИА — арифметико-логические устройства.

В — схемы вычислительных средств: ВЕ — микроЭВМ, ВМ — микропроцессоры, ВВ — схемы управления вводом-выводом, ВТ — схемы управления памятью, ВХ — микрокалькуляторы, ВГ — контроллеры.

После пары букв, указывающих назначение микросхемы, может следовать цифра или цифра с буквой — это название конкретного типа микросхемы данного назначения и данной серии. Примеры, поясняющие системы наименования интегральных схем, можно найти на К-6; 28; 29, где, в частности, показаны три разные микросхемы 155-й серии, выполняющие операции И-НЕ (К155ЛА1, К155ЛА2 и К155ЛА3), две микросхемы, выполняющие операции И-ИЛИ-НЕ (155ЛР1 и 155ЛР3), триггер типа Д (155ТМ2) и регистр (155ИР13).

На чертежах внутренние электрические цепи интегральной схемы, как правило, не рисуют, ее изображают в виде треугольника либо прямоугольника с выводами, возле которых указаны номера ножек корпуса микросхемы. О том, что представляет собой тот или иной вывод у дискретной микросхемы, могут говорить буквенные обозначения на чертеже (К-6; 27, 28), а у аналоговой — те внешние детали («обвязка»), с которыми соединяется микросхема (К-18; 12, 14, 15). Не имея какого-либо конкретного примера включения аналоговой микросхемы, очень трудно, чтобы не сказать невозможно, найти способ ее применения.

На рисунках К-6; 27, 28 показаны некоторые конкретные типы дискретных микросхем очень распространенной 155-й серии. Все они образованы из единого базового элемента (К-6; 27), который в разных количествах и с разными включениями и соединениями входит в ту или иную конкретную микросхему. Так, микросхема 155ЛА1 представляет собой два базовых элемента в чистом виде — каждый из них имеет выполненные на одном четырехэмиттерном транзисторе четыре логических элемента И (схема срабатывает только в том случае, если сигнал поступает одновременно и на 1-й вход, и на 2-й, и на 3-й, и на 4-й) и общий для них элемент НЕ (Т-267). Знак операции И — в верхнем левом углу обоих прямоугольников на схеме 155ЛА1, а знак операции НЕ — небольшой кружок, от которого на чертеже начинается провод, выходящий из схемы.

В микросхеме 155ЛР1 и 155ЛР3 на основных базовых элементах выполняется еще и операция ИЛИ (схема срабатывает, если на нее поступает любой из входных сигналов; Т-267), условное обозначение элемента ИЛИ — единица в верхней части прямоугольника. В микросхеме К155ТМ2 из базовых элементов собраны два триггера (Т-181), каждый из которых имеет четыре

разных входа с общепринятыми обозначениями S, D, C, R. Соединив инверсный выход (выход через НЕ, выводы 6 или 8) со входом D (2 или 12), на вход C можно подавать импульсы, нормально переключающие триггер и поочередно дающие на выходе сигналы 1 и 0. Импульс, поданный на вход S вне очереди, устанавливает 1 на прямом выходе (прямой выход триггеров — выводы 5 или 9), а импульс, поданный на вход R, устанавливает на прямом выходе 0 («сброс»).

Одна из наиболее сложных схем 155-й серии — сдвиговый восьмиразрядный регистр К155ИР13 (К-6; 29, 30), в котором около ста базовых элементов, выполняющих разные функции. Эта микросхема может сдвигать влево или вправо по разрядной шкале двоичные числа, например, вместо двоичного 10 (десятичное 2) сделать 100 (десятичное 4), либо 1000 (десятичное 8), а это равносильно умножению либо делению на 2, на 4, на 8 и т. д. Двоичные числа, с которыми производятся операции, подаются на входы Д1—Д8, а результат получают на выходах 1—8. Команды на сдвиг числа влево (умножение) подают на вход Д+, а сдвиг вправо — на вход Д—. На вход R, как обычно, подается сигнал установки на 0 («сброс»). В связи с большим числом выводов, микросхема К155ИР13 размещена в более крупном корпусе, имеющем уже не 14 ножек, а 24. Сам кристалл у всех микросхем данной серии, как и у подавляющего большинства других полупроводниковых интегральных схем, имеет размеры 5×5,2 *мм* (Т-303).

В заключение в качестве иллюстрации типичных параметров серийных микросхем приводятся некоторые справочные данные интегральных схем, которые используются в практических конструкциях, помещенных в этой книге в разделе К-18.

К140УД1А (операционный усилитель): напряжение питания $U_{пит.1}$ — плюс 6,3 *В* и $U_{пит.2}$ — минус 6,3 *В*; коэффициент усиления напряжения $к$ — 500 ÷ 4500; максимальный постоянный выходной ток $I_{вых}$ — 2,5 *мА*; входное напряжение $U_{вх}$ — до ± 1,2 *В*; напряжение смещения $U_{см}$ — ± 17 *мВ*.

К140УД1Б: $U_{пит.1}$ — плюс 12,6 *В*; $U_{пит.2}$ — минус 12,6 *В*; $к$ — 1350 ÷ 12 000; $I_{вых}$ — 2,5 *мА*; $U_{вх}$ — до ± 1,2 *В*; $U_{см}$ — ± 17 *мВ*.

К174УН7 (усилитель низкой частоты): $U_{пит}$ — 15 *В* (не более 18 *В*); полоса частот — 40 ÷ ÷ 20 000 *Гц*; выходная мощность $P_{вых}$ — 4,5 *Вт* (с радиатором); потребляемый ток (без входного сигнала) — 20 *мА*.

К174ХА10 (супергетородинный приемник): $U_{пит}$ — 3 ÷ 10 *В*; $P_{вых}$ — 0,3 *Вт*.

К155ЛА1, К155ЛА2 (логические элементы), К155ТМ2 (триггер): $U_{пит}$ — плюс 5 *В* ± 5%; $U_{вх}$ — до 2 *В* (единица) и до 0,8 *В* (ноль); $U_{вых}$ — не менее 2,4 *В* (единица) и 0,4 *В* (ноль); рабочая частота — 10 *МГц*; потребляемая мощность 25 *мВт* (логические элементы) и 160 *мВт* (триггер); к выходу каждой микросхемы можно подключить 10 микросхем данной серии (коэффициент выхода — 10).

на его свойства и возможности: высокочастотный мощный кремниевый *p-n-p* транзистор работает примерно так же, как и высокочастотный мощный кремниевый транзистор *n-p-n*. Так, может быть, стоит ограничиться транзисторами одного какого-нибудь типа проводимости и другие вообще не выпускать? Оказывается — не стоит. Вот один из аргументов: применение транзисторов разной проводимости открывает удивительные возможности построения электронных схем (К-8, К-13, К-17 и другие схемы), делает их проще, надежнее.

Напомним, к транзисторам разной проводимости нужно в противоположной полярности подводить питающие напряжения, в них разное направление имеют все токи, и если транзистор *p-n-p* отпирается «минусом» на базе, а «плюсом» запирается, то транзистор *n-p-n* совсем наоборот — отпирается «плюсом» и запирается «минусом» (Р-83. Р-86). Все так и должно быть: в транзисторах разной проводимости одну и ту же работу на одних и тех же участках выполняют разные заряды — там, где у одного работают свободные положительные заряды, дырки, там у другого трудятся свободные отрицательные заряды, электроны.

Принадлежность транзистора к той или иной группе в значительной мере отражена в его названии (С-15). Научившись разбираться в этой системе обозначений, а тем более периодически заглядывая в справочную таблицу С-15, вы сможете реагировать на название транзистора в какой-нибудь практической схеме примерно так: «Транзистор КТ315А? Как же? Знакомая личность... Усиление по току от 20 до 90 — как повезет... Обратный ток ничтож-

ный — меньше микроампера... Граничная частота больше 300 мегагерц. Для данной схемы вполне подходящий прибор...»

Привыканию к конкретным типам транзисторов наверняка будет способствовать знакомство с конкретными схемами, к которым уже можно было бы перейти. Однако сейчас мы ненадолго прерываем путешествие в транзисторную электронику, чтобы отдать дань уважения электронной лампе — изумительному прибору, с которого, по сути дела, началась электроника и который достойно и честно уступил транзистору огромные свои завоевания.

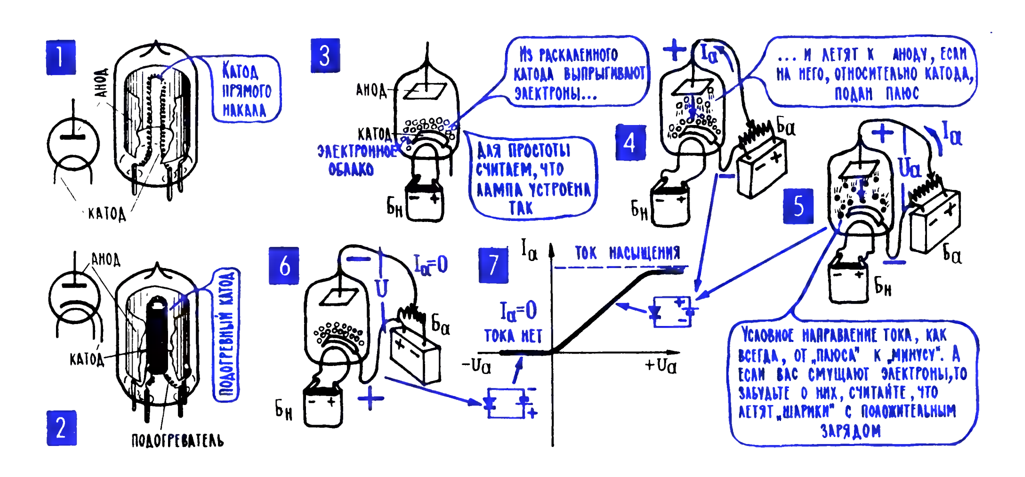
Знакомство с лампами не только дань исторической справедливости, но и полезное для практики дело. Во-первых, еще сегодня работает немало ламповых или комбинированных лампово-транзисторных аппаратов. Ну а во-вторых, многие уже забытые особенности ламповых схем вновь привлекают внимание в связи с появлением так называемых полевых транзисторов (К-18, С-15), которые по своему поведению в схеме во многом напоминают электронную лампу.

Т-152
Т-152. В электронной лампе усиливаемый сигнал управляет анодным током — потоком электронов в вакууме. Электронная лампа... Все события здесь разворачиваются в стеклянном или металлическом баллоне, из которого откачан воздух. Поэтому электронная лампа входит в огромный класс так называемых электровакуумных приборов, куда можно отнести и телевизионный кинескоп, и синхрофазотрон, и, если не очень придираться, обычную электрическую лампочку. Но только из лампочки воздух откачали потому, что иначе металл раскаленной нити будет окисляться кислородом и нить мгновенно сгорит (она действительно сгорает и действительно мгновенно, если в лампочку попадает воздух). А в электронной лампе вакуум нужен для того, чтобы в ней можно было беспрепятственно создать поток электронов, то есть создать электрический ток. И управлять величиной этого тока, формируя «мощную копию» усиливаемого электрического сигнала. Для формирования потока электронов и управления им в лампе имеются различные металлические детали с общим названием — электроды.

Электрод, с которого все начинается,— катод поставляет свободные электроны для будущего электронного потока в баллоне. В некоторых лампах катод — это тонкая металлическая нить, которую нагревают, пропуская по ней ток (Р-89; 1). Но чаще катод — это металлическая трубочка, внутрь которой опять-таки вставлена нить-подогреватель (Р-89; 2). Подогреватель называют еще нитью накала.

К этой миниатюрной электроплитке подводится небольшое напряжение; в самых распространенных типах ламп 6,3 *В*. Кстати, первая цифра в названии лампы примерно указывает необходимое ей напряжение накала.

Нить накала нагревает катод, и в нем, как во всяком нагретом металле, сильно активизируется хаотическое движение свободных электронов. Многие электроны до того разбегаются в металле, что по инерции выскакивают из катода, вылетают в свободное пространство. Это называется термоэлектронной эмиссией. Правда, далеко свободные электроны не улетают: у катода, который они покинули, появляется некоторый положительный заряд (суммарный заряд оставшихся в металле положительных ионов), и он не дает электронам далеко улететь, тянет их обратно к катоду. Поэтому вокруг раскаленного катода существует этакое облачко из электронов, уже вылетевших, но еще не успевших упасть обратно на катод. Всю эту картину можно сравнить с фонтаном в парке: выброшенная вверх струя воды довольно быстро падает под действием своей тяжести, но над фонтаном все время стоит столб воды, уже поднявшейся и еще не успевшей упасть.



Разогрев катода — вспомогательная операция, и конструкторы ламп всеми силами стараются уменьшить затраты энергии на нее. Для этого, например, активируют катод, покрывают его тончайшим, одноатомным слоем вещества, которое подтягивает электроны к поверхности, помогает им покинуть катод. Благодаря этому активированные катоды работают при температурах около 1000 °C вместо 2500 °C в чисто металлических катодах. Правда, активированный катод — сооружение довольно нежное, он, в частности, не терпит перегрева, не терпит превышений напряжения накала. Кроме того, со временем (для многих ламп через несколько тысяч часов непрерывной работы) активный слой перестает действовать, лампа, как принято говорить, теряет эмиссию. В принципе возможны разные повреждения лампы — перегорает нить накала, накоротко замыкаются электроды внутри баллона, отгорают их выводы. Но чаще всего лампа выходит из строя постепенно, из-за потери эмиссии.

Второй электрод лампы — анод. Это обычно цилиндр или короб, в центре которого проходит катод: на упрощенных рисунках анод часто изображают в виде нависшей над катодом пластинки (Р-89; 3).

Давайте включим между катодом и анодом анодную батарею $Б_а$, источник постоянного анодного напряжения. Можно подать на анод постоянное напряжение не только от батареи, но и от любого другого генератора, но, рассказывая о работе лампы, будем для простоты считать, что все постоянные напряжения, в том числе и анодное, подводятся к ней от химических источников тока. Для начала включим батарею так, чтобы «плюс» анодного напряжения был подан на анод, а «минус» — на катод. В этом случае начнется движение электронов в вакууме, в баллоне лампы от катода к аноду и их возвращение на катод по внешней цепи, через батарею $Б_а$ (Р-89; 4, 5).

Если увеличивать положительное напряжение на аноде, то растет и анодный ток, но, разумеется, до определенного предела. После того как полностью рассосется облачко вокруг катода и все вылетевшие из него электроны включатся в анодный ток, ток этот уже не сможет увеличиваться — наступит так называемое насыщение (Р-89; 7).

Если повернуть батарею и подать на анод «минус», то никакого тока в лампе не будет (Р-89; 6). Как видите, двухэлектродная лампа — электровакуумный диод — обладает односторонней проводимостью, как и полупроводниковый диод. Больше того, в вакуумном диоде нет собственных сво-

бодных носителей зарядов (Т-128, Т-129), и обратного тока в лампе нет вообще.

Следующий шаг — введем в лампу еще один, третий электрод, так называемую управляющую сетку, и поставим ее на пути анодного тока. Название «сетка» идет с далеких времен, когда сетка действительно была сеткой; в современных лампах это спираль, окружающая катод на небольшом расстоянии от него (Р-90; 1). Управляющая сетка превращает диод в трехэлектродную усилительную лампу — триод. Кстати, транзистор часто называют полупроводниковым триодом, у него тоже три электрода, три рабочих зоны — эмиттер, база, коллектор.

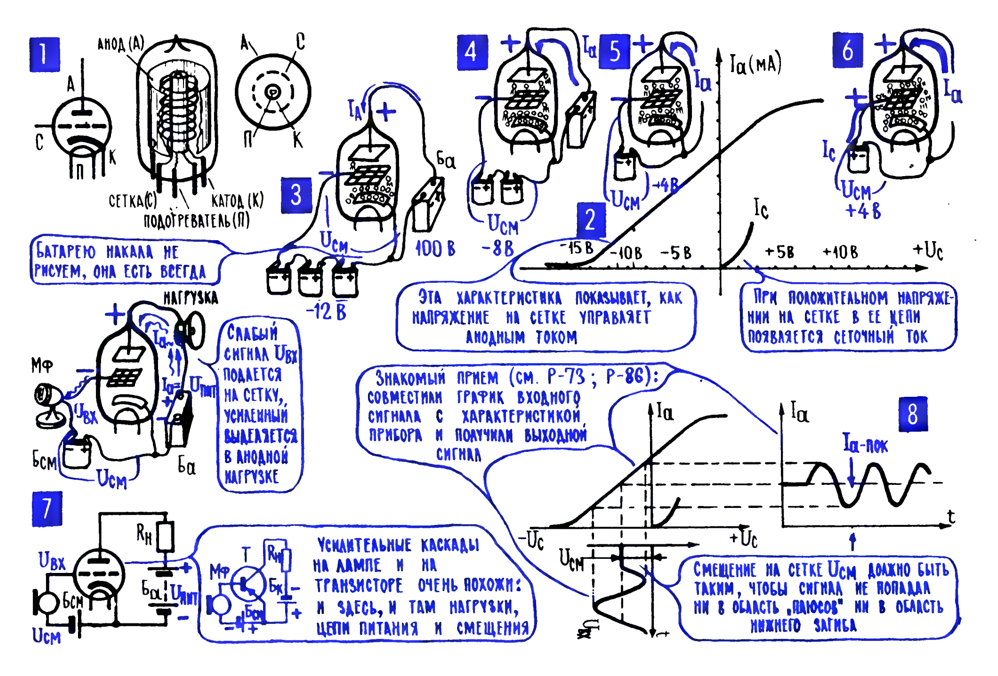
Сетка расположена близко к катоду, и напряжение на ней очень сильно влияет на анодный ток — «плюс» на сетке подтягивает электроны, увеличивает число свободных электронов, вырвавшихся из облачка вблизи катода и отправившихся в далекое путешествие к аноду (Р-90; 6). «Минус» на сетке, наоборот, отталкивает электроны к катоду, уменьшает анодный ток (Р-90; 3, 4, 5). Одним словом, усиливаемый сигнал $U_{вх}$, действуя с командного пункта трехэлектродной лампы, с сетки, управляет анодным током $I_а$, а тот, проходя по нагрузке $R_н$, выделяет в ней мощную копию усиливаемого сигнала (Р-90; 7). Можно рассказать об этом и другими словами: усиливаемый сигнал меняет число зарядов, которые реально могут двигаться к аноду, а значит, меняет внутреннее сопротивление лампы $R_а$ (Р-90; 8). Однако с какой стороны ни посмотришь на события в усилительной лампе, одно остается бесспорным — энергию на создание «мощной копии» дает анодная батарея.

Т-153

Т-153. На управляющую сетку обычно подается отрицательное смещение. О событиях в лампе лучше всего могут рассказать ее характеристики, в частности анодно-сеточная, она показывает, как анодный ток зависит от напряжения на сетке (Р-90; 2). Обратите внимание: при положительных напряжениях на сетке, кроме анодного, появляется еще и сеточный ток $I_с$. Появляется он потому, что, несмотря на «прозрачность» сетки, в нее все же попадает часть электронов. Сеточный ток — явление крайне неприятное: он отбирает электроны у анодного и тем самым искажает его, создает нелинейные искажения «мощной копии». Кроме того, сеточный ток требует дополнительной мощности от источника сигнала, нагружает его. Вот почему режим лампы обычно устанавливают так, чтобы она работала в левой части своих характеристик, то есть чтобы на сетке никогда не появлялся «плюс» и не было сеточного тока.

Этим, кстати, лампы принципиально отличаются от транзисторов, у которых без тока базы обойтись невозможно. Потому что в транзисторе материал для создания коллекторного тока — свободные заряды — дает ток в *pn*-переходе эмиттер — база, и часть этого тока обязательно ответвляется в базовую цепь. В лампе же материал для создания анодного тока дает электронная эмиссия катода, и сетка может управлять анодным током не «плюсом», а «минусом», не притягивающим напряжением, а отталкивающим.

Нужно один раз разобраться в этих «плюсах» и «минусах», чтобы в дальнейшем в них не путаться. Запомните: «минус» на сетке запирает лампу так же, как «минус» запирает транзистор структуры *n-p-n*. А вот в транзисторе *p-n-p* «минус», наоборот, увеличивает коллекторный ток. И дальше — в лампе на анод подается притягивающее напряжение «плюс» так же, как и на коллектор транзистора *n-p-n*, а в транзисторе *p-n-p* притягивающее напряжение на коллекторе — «минус». Все это отображено на Р-83, Р-86 и Р-90.



Имея опыт с выбором рабочей точки транзистора (Р-86), мы легко найдем, как избавить лампу от сеточных токов: для этого достаточно вместе с сигналом подать на сетку (относительно катода) некоторое отрицательное постоянное смещение, некоторый «минус» (Р-90; 8).

Т-154. Основные типы усилительных ламп: триод, пентод и лучевой тетрод. Триод был первой усилительной лампой, его возраст — около восьмидесяти лет. И сейчас триод в некоторых областях остается незаменимым, хотя из-за двух серьезных недостатков его сильно потеснили другие лампы. Первый недостаток триода связан с тем, что электроды лампы, по сути, представляют собой обкладки конденсаторов и в лампе существуют междуэлектродные емкости, никому не нужные, а поэтому названные паразитными емкостями (Р-91; 1). Самая опасная из них — емкость между анодом и управляющей сеткой C_{ac}. Через нее усиленный сигнал попадает во входную цепь (Р-91; 2), а это может привести к серьезным неприятностям (Т-200). Другой недостаток триода связан с самим принципом работы усилителя: когда напряжение на нагрузке растет, на аноде (как и на коллекторе транзистора) оно уменьшается (Р-91; 4. Р-87) и анод слабее тянет к себе электроны. Результат — ухудшаются усилительные способности лампы.

Оба недостатка триода были ликвидированы одним ударом: между анодом и управляющей сеткой поместили еще один электрод — экранную (экранирующую) сетку, и таким образом получилась четырехэлектродная лампа, тетрод (Р-91; 5). Экранную сетку через конденсатор $C_э$ соединяют с катодом, и она отводит, замыкает накоротко переменные токи, которые могли бы попасть во входную цепь. Кроме того, на экранную сетку подают значительный «плюс» ($U_э$), иногда такой же, как и на анод, а иногда поменьше. Теперь как бы ни менялось напряжение на аноде, это почти не повлияет на анодный ток — экранная сетка будет тянуть электроны к аноду всегда с одинаковой силой.

К сожалению, и тетроду не пришлось стать идеальной усилительной лам-

пой, у него самого обнаружился серьезный недостаток. В те моменты, когда напряжение на аноде падает, «плюс» на экранной сетке начинает двигать электроны не только «туда», но и «обратно», уменьшая анодный ток. Дело в том, что электронный поток, бомбардируя анод, выбивает из него так называемые вторичные электроны. Только что выскочив на белый свет, они сразу попадают под влияние огромного притягивающего «плюса» на экранной сетке и, естественно, начинают двигаться к ней. В лампе появляется ток обратного направления — от анода к экранной сетке, что равносильно уменьшению анодного тока. Это динатронный эффект — явление крайне неприятное. Во-первых, оно создает нелинейные искажения — когда анодный ток должен расти, он уменьшается. Во-вторых, из-за динатронного эффекта перегревается сама экранная сетка, ухудшается вакуум в баллоне, а за этим следует уже целая цепочка самых разнообразных неприятностей.

С динатронным эффектом тоже научились бороться, причем двумя разными путями. Они и привели к созданию двух основных типов ламп: пентодов и лучевых тетродов. В пентоде между экранной сеткой и анодом расположена очень редкая пентодная, или, иначе, антидинатронная, сетка, которая соединена с катодом, чаще всего внутри лампы (Р-91; 7). Первичные электроны, те, что летят от катода к аноду, через редкую пентодную сетку по инерции проскакивают беспрепятственно. В то же время пентодная сетка легко отталкивает обратно к аноду вторичные электроны, которые еще не успели набрать скорость. Потому, что на этой сетке «минус» относительно анода — она-то ведь соединена с катодом, а на катоде относительно анода всегда «минус», поскольку на аноде всегда «плюс» относительно катода.

Лучевой тетрод (Р-91; 8) сконструирован так, что электроны идут к аноду острыми лучами. Благодаря высокой концентрации электронов эти лучи ведут себя как проводники, протянутые от катода, и, подобно пентодной сетке, они своим «минусом» отталкивают вторичные электроны обратно на анод.

Диод, триод, пентод, лучевой тетрод — основные типы электронных ламп, но ими ассортимент ламп далеко не исчерпан. Есть, например, лампа гептод, в ней две управляющие сетки, с которых анодным током управляют одновременно два сигнала (Р-91; 9). Или лампа оптический индикатор настройки, в ней есть уже некоторые элементы телевизионной трубки — светящийся экран и перемещение электронного потока в пространстве (Т-91; 10). Наконец, часто встречаются комбинированные лампы, то есть две-три лампы, размещенные в одном баллоне — два триода, триод и пентод, триод и гептод, два диода и триод (Р-91; 11).

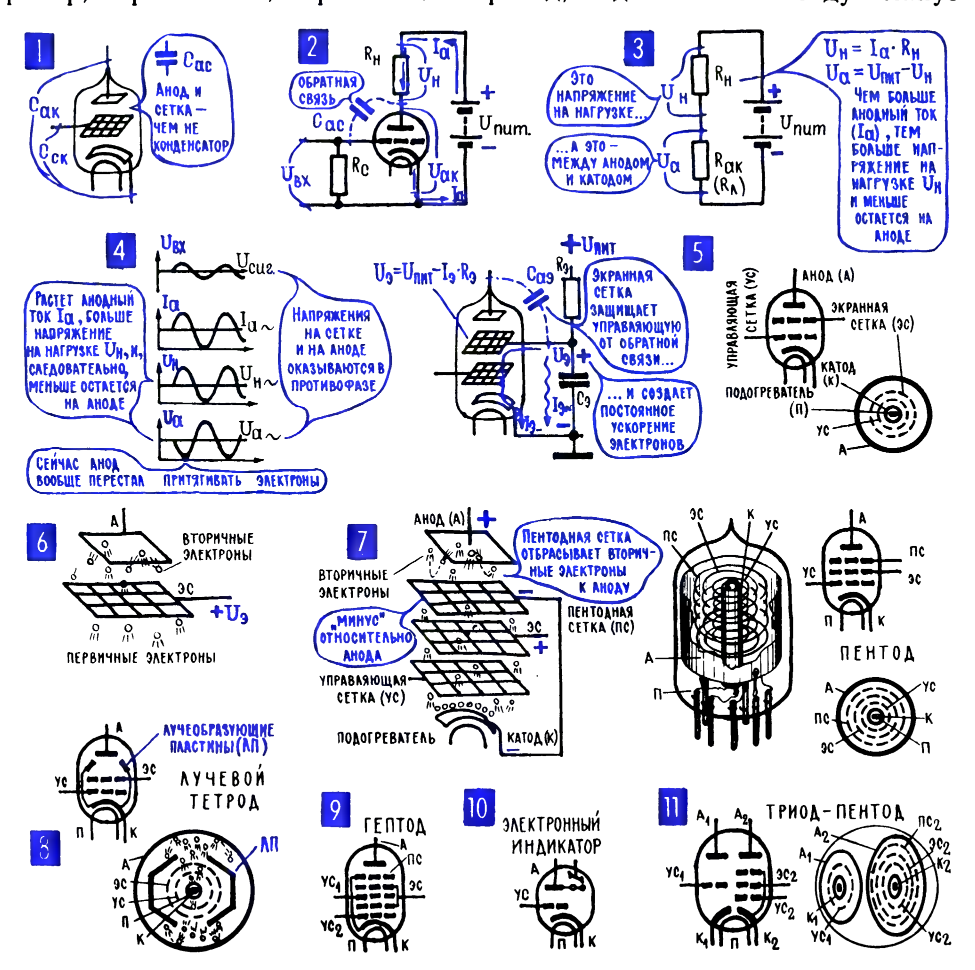
Т-155 **Т-155. В усилительный каскад входят транзистор (лампа), нагрузка, элементы питания, цепи ввода и вывода сигнала.** По мере того как мы знакомились с использованием транзисторов и электронных ламп, они обрастали разными дополнениями — сначала появилась нагрузка, затем цепи постоянного смещения на базу в транзисторе и на управляющую сетку в лампе, элементы разделения постоянного и переменного напряжения на входе и выходе усилителя. Сейчас настал момент нарисовать схему всего усилительного блока, со всеми основными и вспомогательными элементами, схему так называемого усилительного каскада.

Т-156 **Т-156. Электронные схемы получаются такими, что многие элементы присоединяются к общему проводу.** Но сначала несколько слов об одном графическом приеме: на схеме упрощенно показывают присоединение многих элементов к одному и тому же проводу, используя условное обозначение «соединение с металлическим корпусом, с шасси» (Р-92; 1, 2). Когда-то электронные схемы, особенно ламповые, действительно собирали на металлическом

шасси и оно служило общим проводом для соединения многих элементов. И хотя теперь металлическое шасси встретишь редко, знак этот все же остался, и понимать его нужно так: «соединение с общим проводом». Такой знак очень удобен, он позволяет упростить чертеж, избавиться от многих длинных соединительных линий.

Вместо «соединить с шасси (с общим проводом)» довольно часто говорят «заземлить». Это выражение тоже пришло из прошлого, когда металлические шасси приемников и некоторых других приборов соединяли с землей, заземляли. И при этом оказывались заземленными все цепи, которые «сидели» на шасси. Слово «заземлить» в смысле «соединить с общим проводом» очень удобно, и в этом легко убедиться при разборе первых же схем усилительных каскадов, когда короткое слово «заземлено» заменяет длинную фразу.

Т-157. Типичный усилительный каскад на триоде. На Р-92; 1, 2 показана схема типичного усилительного каскада на трехэлектродной лампе. Катод лампы заземлен, то есть подключен к общему проводу, и, значит, любая заземленная точка схемы соединена с катодом через этот общий провод. Так, например, через землю, через общий провод, подключен к катоду «минус»



анодной батареи и «плюс» батареи смещения. При этом на сетку относительно земли, то есть относительно катода, подается «минус», а на анод — «плюс». Чтобы переменная составляющая анодного тока не попадала в анодную батарею, что может привести к серьезным неприятностям (Т-200), эту составляющую сразу же после нагрузки через $C_ф$ замыкают на землю, а значит, и на катод.

Через землю подключен к катоду и второй провод источника сигнала — первый подсоединен прямо к сетке через $C_с$. Этот конденсатор, кстати, нужен для того, чтобы, с одной стороны, постоянное напряжение $U_{см}$ не попадало к источнику сигнала, а с другой стороны, чтобы сам этот источник не соединял сетку по постоянному току с землей.

Если бы в анодную цепь усилительного каскада был включен громкоговоритель и «мощная копия» окончательно использовалась в самом этом каскаде, превращаясь в звук, то цепочки $R'_н C_а$ вообще не было бы. Она появляется, когда усиленный электрический сигнал передают дальше, чтобы использовать его где-то в другом месте. Резистор $R'_н$ как раз и отображает это самое «где-то». К нему через $C_а$ подводится переменное напряжение с анода лампы, по $R'_н$ идет часть переменной составляющей анодного тока, и именно в $R'_н$ выделяется истинная продукция усилительного каскада.

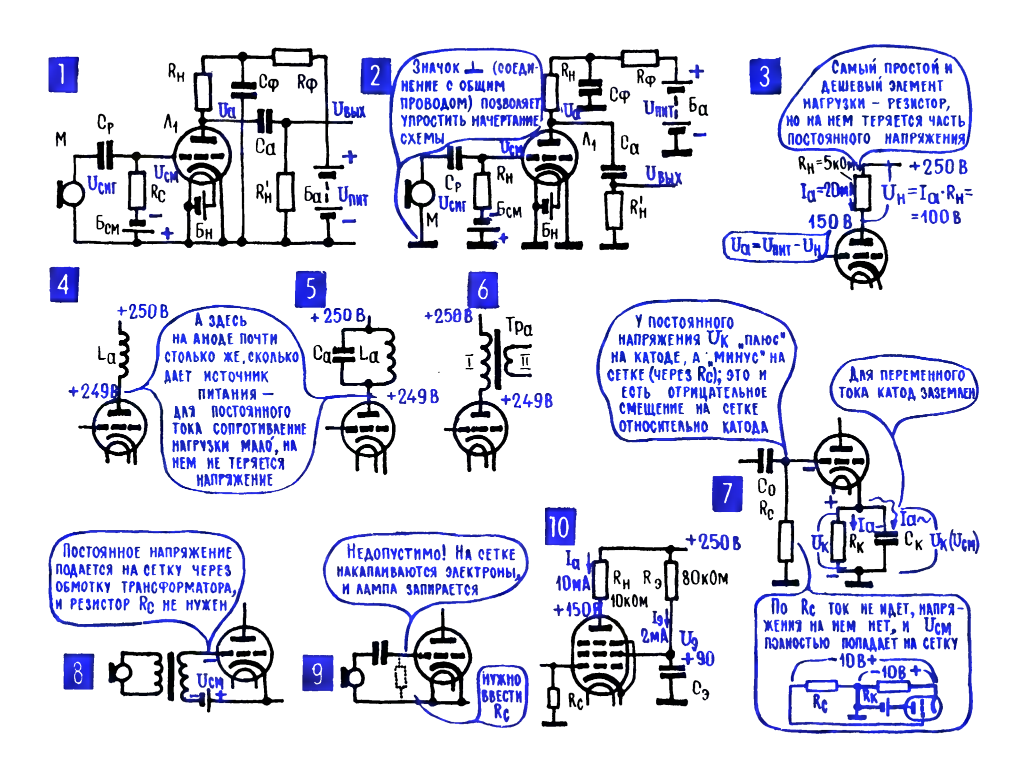
Можно считать, что для лампы нагрузкой служат оба резистора — $R_н$ и $R'_н$ и от их соотношения зависит, какая часть «мощной копии» останется в данном каскаде, а какая будет передана дальше.

На Р-92; 4, 5 показано, что роль анодной нагрузки могут выполнять катушки индуктивности $L_а$ и колебательный контур $L_а C_а$. Важное достоинство этих схем: на нагрузке не теряется постоянное напряжение, как на резисторе (Р-92; 3), и в то же время катушка и контур могут представлять достаточно большое сопротивление для переменной составляющей анодного тока. То же достоинство имеет включение нагрузки в анодную цепь через трансформатор.

Т-158 **Т-158. В самых разных схемах встречаются одинаковые схемотехнические решения.** Чтобы без страха и трепета разбираться в бесконечном многообразии электронных схем, нужно прежде всего знать некоторые типичные приемы схемотехники, типичные приемы обработки электрических сигналов. Такие, например, как ослабление токов и напряжений с помощью шунтов, гасящих сопротивлений и делителей напряжения. Или разделение постоянных и переменных составляющих сложного тока с помощью фильтров. Или еще такой схемный фокус, как создание разного рода вспомогательных напряжений на резисторах, включенных в цепь постоянного тока.

Примеры двух последних операций можно увидеть на Р-92; 7. Здесь в катодную цепь лампы включен резистор $R_к$, зашунтированный конденсатором $C_к$. Емкость этого конденсатора выбирается с таким расчетом, чтобы для переменной составляющей анодного тока его емкостное сопротивление x_c (Т-76) было во много раз меньше, чем $R_к$. В этом случае для переменной составляющей анодного тока $I_{а\sim}$ катод просто заземлен. А вот постоянная составляющая $I_{а-}$ через конденсатор, естественно, не пойдет, у нее есть только один путь — через $R_к$. И, проходя по этому резистору, постоянная составляющая анодного тока создаст на нем постоянное напряжение $U_{см}$, «плюс» которого — вверху, на катоде, а «минус» — внизу, на земле.

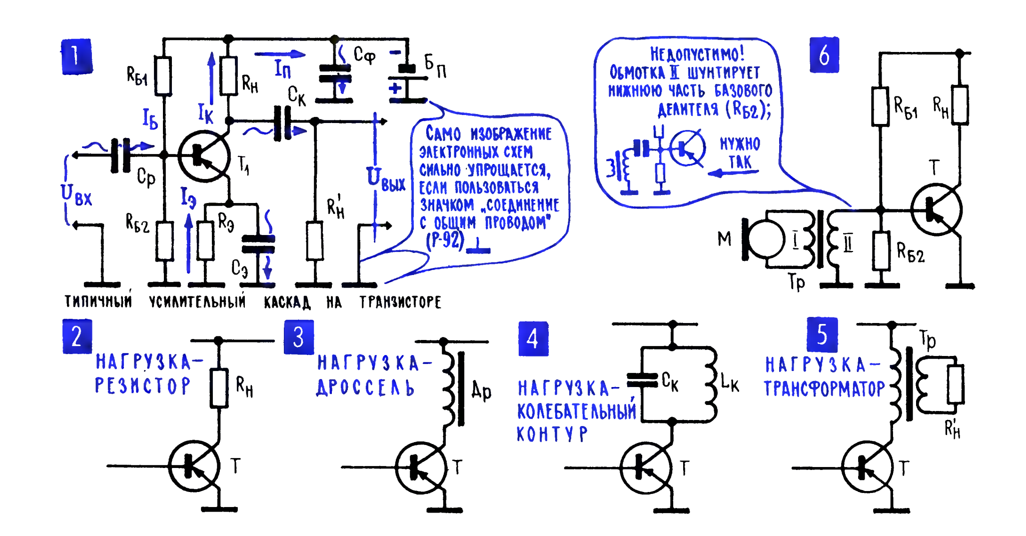
Напряжение $U_{см}$ — не что иное, как вспомогательное отрицательное смещение на сетку: «минус» этого напряжения (относительно катода) через



$R_с$ подается на сетку и смещает влево рабочую точку на характеристике лампы, избавляет каскад от сеточных токов (Р-90). Удачная полярность напряжения $U_{см}$ получается потому, что анодный ток $I_а$ течет от «плюса» к «минусу», от анода к катоду.

Мы в свое время (Т-42) договорились во всех случаях пользоваться одним условным направлением тока, при этом проще водить пальцем по схеме, определять, куда идет тот или иной ток, в какой полярности действует то или иное напряжение. Причем результат не изменится от того, будем ли мы пользоваться условным направлением тока или следить, в какую сторону движутся электроны. Электроны в лампе, конечно, идут от «минуса» к «плюсу», от катода к аноду. И поэтому электронный поток проходит по резистору $R_к$ снизу вверх. А это может означать только одно: на этом резисторе внизу — «минус», вверху — «плюс». Как видите, рассматривая условное направление тока и истинное направление движения электронов, мы получили один и тот же результат — на катоде «плюс», на сетке — «минус». Это еще одно подтверждение: рассматривая электронные схемы, можно, как это и принято, без всяких сомнений пользоваться условным направлением тока. И давайте к этому вопросу, который мы в свое время разобрали подробно (Р-28), больше не возвращаться.

Резистор $R_с$, через который на сетку подается смещение, не нужен, если источник сигнала пропускает постоянный ток, как, например, обмотка микрофонного трансформатора. Но ни в коем случае нельзя допустить, чтобы сетка не соединялась с катодом по постоянному току. Потому что даже единичные электроны, попавшие на сетку, в этом случае будут накапливаться (им просто некуда уйти) и постепенно создадут на сетке такой большой «минус», что лампа сама по себе полностью запрется, анодный ток прекратится (Р-92;9).



Резистор $R_с$ называют утечкой: попавшие на сетку электроны стекают с нее через $R_с$.

Пример понижения питающих напряжений мы видим на Р-91; 3 и Р-92; 10. Здесь на гасящем резисторе $R_э$ ток экранной сетки $I_э$ создает некоторое падение напряжения. Сопротивление $R_э$ с учетом величины $I_э$ подобрано с таким расчетом, чтобы на экранную сетку попадал меньший «плюс», чем на анод. Конденсатор $C_э$ заземляет экранную сетку для переменного тока. Кстати, если этот конденсатор пробьется, то экранная сетка «сядет на землю», по $R_э$ пойдет большой ток и резистор, скорее всего, сгорит.

А после этого экранная сетка окажется «висящей» (Т-8. Р-92; 9), и из-за этого лампа закроется.

Т-159 **Т-159. На резисторе не может теряться напряжение, если по нему не идет ток.** Схема Р-92; 7 дает повод подумать об одной типичной ошибке при оценке напряжений в той или иной точке сложной электрической цепи. Сопротивление резистора $R_к$ обычно 0,1—1 *кОм,* сопротивление $R_с$ чаще всего 0,1—1 *МОм,* то есть в тысячу раз больше, чем $R_к$. И вот эта огромная разница, бывает, наводит на сомнения: а не потеряется ли на $R_с$ напряжение смещения $U_{см}$ по пути от катода к сетке. Ответ очень определенный: не потеряется. Напряжение, теряемое на том или ином резисторе, определяется током, который по нему идет, а по $R_с$ практически ток не идет (точнее, идет чрезвычайно малый ток, доли микроампера — его создают случайные электроны, попадающие на сетку, несмотря на «минус» на ней). Во всяком случае, большой анодный ток $I_а$ замыкается только по $R_к$ и в $R_с$ не попадает. Вывод: напряжение на самом $R_с$ практически равно нулю и $U_{см}$ полностью достается участку сетка — катод.

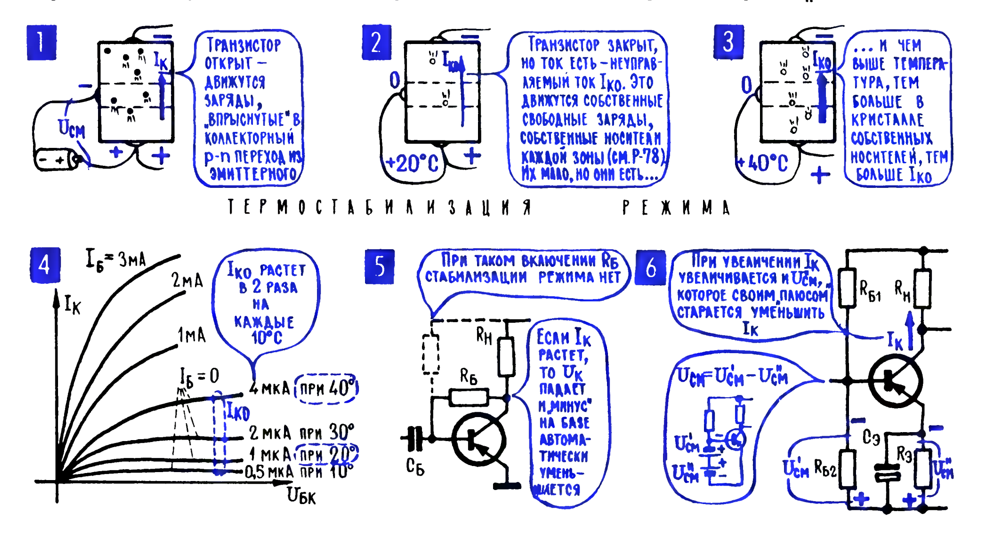
Отсюда можно вывести, может быть, не очень строго сформулированное, но практически полезное правило: оценивать напряжение в какой-нибудь точке схемы можно только относительно другой точки; при этом нужно внимательно следить за тем, какие элементы включены между этими точками и какие токи идут по каждому из них.

Т-160 **Т-160. Транзисторные схемы находят все более широкое применение.** То, что в самых разных электронных схемах встречаются одни и те же схемотехнические решения, подтверждает еще и рисунок Р-93, на котором показаны

некоторые фрагменты транзисторных усилительных каскадов. Этот рисунок возвращает нас из области ламповых усилителей к транзисторным, с которыми мы уже не расстанемся до самого конца своего путешествия в электронику. Лампы все реже можно встретить в промышленной аппаратуре, в новых моделях их вообще не увидишь. В последние годы мало кто из радиолюбителей работает с ламповыми схемами. Такая «транзисторизация» связана с важными достоинствами транзисторов. С их долговечностью, малыми габаритами, экономичностью — для создания одной и той же «мощной копии» транзисторный усилитель потребляет от источников питания в несколько раз меньше энергии, чем ламповый. Это особо важно для переносной аппаратуры — здесь экономное расходование электроэнергии позволяет резко уменьшить вес батарей. Кроме того, транзистор привлекает своей неприхотливостью в части питания — на анод лампы нужно подать десятки, а то и сотни вольт; на коллектор транзистора — всего несколько вольт; для питания лампы нужно иметь два напряжения — накальное и анодное, транзистор обходится одним источником питания — коллекторной батареей. Когда тридцать лет назад появились первые транзисторы, мало кто думал, что они так хорошо смогут заменить лампы: у транзисторов в то время было очень много недостатков. Сначала они работали только на низких частотах; их параметры даже в пределах одного типа сильно различались; не удавалось создать мощные транзисторы.

Сейчас все это позади, и, во всяком случае, в рамках радиолюбительского конструирования можно обходиться одними транзисторами, обходиться без электронных ламп.

Т-161. Типичный усилительный каскад на транзисторе. В первой из схем на Р-93; 1 нам встречаются «знакомые все лица» — нагрузка $R_н$, делитель $R_{б1}$ $R_{б2}$, с которого подается смещение на базу (Р-86), переходной конденсатор $C_к$, через который ответвляется на резистор $R'_н$ часть переменной составляющей коллекторного тока. И чем меньше сопротивление $R'_н$, тем большая часть $I_{к\sim}$ идет через него и меньший ток замыкается через нагрузку $R_н$. Кстати, цепочка $C_к R'_н$ представляет собой делитель напряжения. И если емкость конденсатора $C_к$ достаточно велика, если его емкостное сопротивление мало по сравнению с $R'_н$, то почти все переменное напряжение $U_{к\sim}$, которое действует на коллекторе, действует и на резисторе $R'_н$.



В транзисторных усилительных каскадах так же, как и в ламповых, в качестве нагрузки могут использоваться катушка (дроссель), колебательный контур и, кроме того, нагрузка может включаться в коллекторную цепь через трансформатор (Р-93; 3, 4, 5). А вот соединение базы с эмиттером через небольшое сопротивление источника сигнала, скажем через микрофонный трансформатор (Р-93, 6), в транзисторном усилителе по схеме Р-93; 1 уже невозможно. Потому, что это небольшое сопротивление войдет в делитель $R_{б1}$ $R_{б2}$ и резко уменьшит сопротивление его нижнего участка, постоянное смещение на базе практически исчезнет, транзистор окажется запертым. Источник сигнала с малым собственным сопротивлением приходится подключать к базе через разделяющий конденсатор $C_р$: он легко пропускает переменное напряжение (усиливаемый сигнал) и не позволяет источнику сигнала шунтировать нижнюю часть делителя по постоянному току.

Т-162

Т-162. Автоматическая регулировка коллекторного тока стабилизирует режим транзистора. Особое место в схеме занимает резистор $R_э$, он нужен для стабилизации режима транзистора.

С транзисторной аппаратурой, в отличие от ламповой, могут происходить довольно странные явления. Например: транзисторный приемник, прекрасно работавший дома, начинает говорить неразборчивым шепотом, как только вы выходите с ним на прогулку. Или: транзисторный магнитофон хорошо воспроизводит музыку только первые несколько минут, а потом его звучание без видимой причины само по себе становится хриплым, искаженным.

Как объяснить подобные «чудеса»?

С чем они связаны?

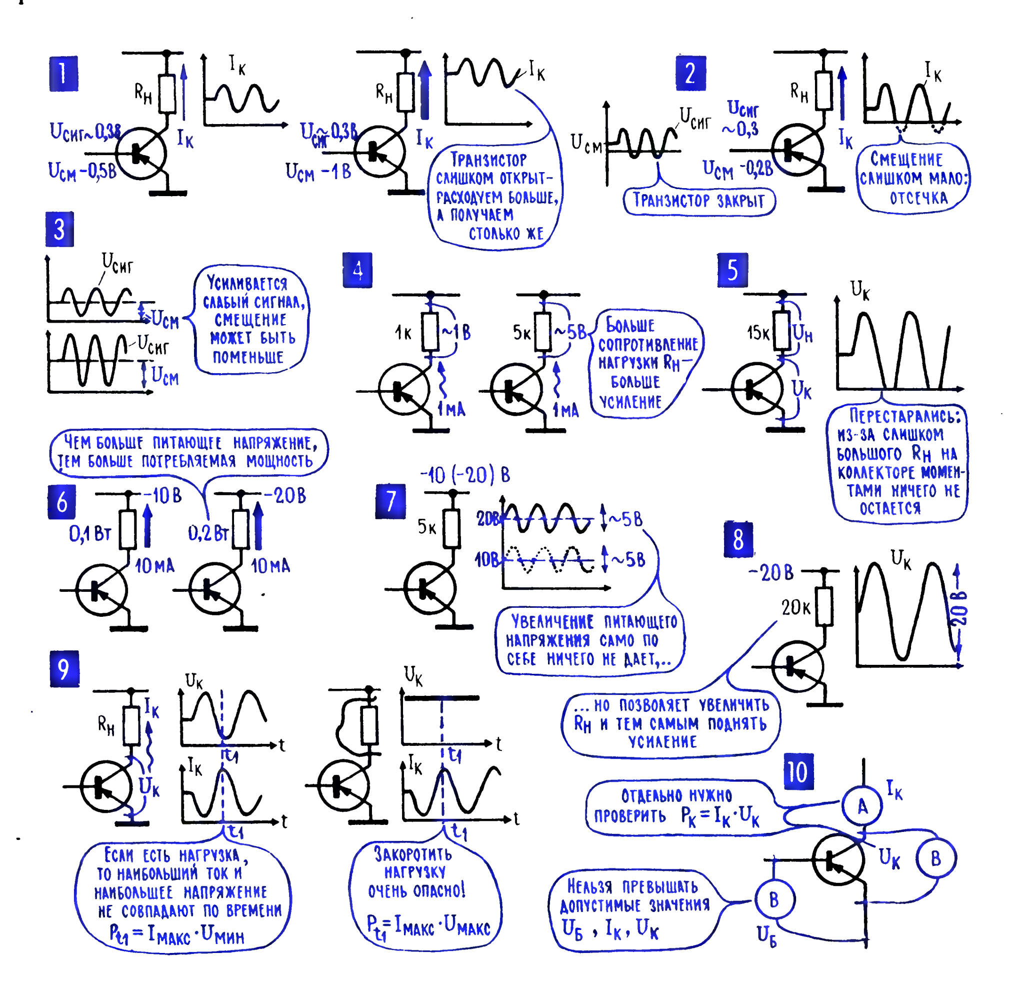
Все это, конечно, козни неуправляемого коллекторного тока $I_{ко}$ (Т-150), который резко увеличился: в первом случае под действием жарких солнечных лучей, во втором — из-за постепенного разогрева усилителя в процессе его работы. Концентрация собственных свободных зарядов, а значит, и неуправляемый коллекторный ток $I_{ко}$ возрастают в среднем в два раза с увеличением температуры на каждые 10 °С (Р-94). Это значит, что если температура повысится от 20° до 50° (цифры вполне реальные для приемника, который из прохладной комнаты попал на жаркий пляж), то ток $I_{ко}$ возрастает в восемь раз.

Увеличение $I_{ко}$ опасно потому, что этот ток неизбежно проходит через командный пункт транзистора, через эмиттерный *pn*-переход. И создает на этом переходе некоторое неуправляемое напряжение, «плюс» которого оказывается на эмиттере, а «минус» — на базе. Это напряжение помимо нашей воли открывает транзистор, увеличивает коллекторный ток.

Чем это может кончиться, показывает реальный цифровой пример. У транзистора П42Б обратный ток коллектора $I_{ко}$ может достигать 25 *мкА* (С-15; в справочных таблицах указывают самое большое возможное значение $I_{ко}$; в действительности он может быть и меньше). В типичном для такого маломощного транзистора режиме коллекторный ток покоя составляет примерно 10 *мА*. Предположим, что нам попался транзистор с коэффициентом усиления по току $B = 100$ и что из-за нагревания транзистора $I_{ко}$ увеличивается в десять раз, то есть вместо 25 *мкА* становится 250 *мкА*. Это значит, что при холодном транзисторе неуправляемый ток будет добавлять к основному коллекторному току 2,5 *мА* (25 *мкА* · 100 = 2500 *мкА* = 2,5 *мА*), а нагретый транзистор уже добавит к коллекторному току 25 *мА* (250 *мкА* · 100 = 25 500 *мкА* = 25 *мА*). То есть неуправляемая добавка значительно превысит основной коллекторный ток. Нетрудно представить себе, к каким сильным изменениям режима и искажениям сигнала это может привести.

Возможно еще одно неприятное последствие температурной нестабильности тока $I_{ко}$. При нагревании транзистора этот ток растет и тянет за собой коллекторный ток, а тот в свою очередь еще больше нагревает транзистор, и из-за этого $I_{ко}$ еще больше возрастает: катится страшная лавина увеличения коллекторного тока, которая может мгновенно вывести транзистор из строя. Особо опасна ситуация, когда база почему-либо не подключена к схеме («висящая база») и ток $I_{ко}$ оказывается единственным действующим лицом в эмиттерном переходе. Поэтому-то и рекомендуют, включая транзистор в схему, на всякий случай, чтобы не забыть, начинать с базы.

Из всего этого невеселого рассказа следует, что чем меньше $I_{ко}$, тем лучше, тем стабильнее работает транзистор. (Большой ток $I_{ко}$ мощных транзисторов не должен вводить в заблуждение, у мощных транзисторов и управляемый коллекторный ток значительно больше, чем у маломощных.) Достижения физики и технологии позволяют создавать маломощные транзисторы, у которых $I_{ко}$ меньше 1 *мкА,* такие приборы почти не меняют режим усилителя при изменении температуры. Ну, а в тех случаях, когда $I_{ко}$ все же представляет опасность, применяют схемы автоматической стабилизации режима.



В самой простой из них (Р-94; 5) смещение на базу подается не с «минуса» коллекторной батареи (Р-86), а с самого коллектора. При этом, если при нагревании прибора возрастает коллекторный ток, то понижается напряжение на коллекторе и автоматически становится меньше «минус» на базе. А это, как известно, приводит к уменьшению коллекторного тока. Таким образом, изменение температуры в меньшей степени влияет на коллекторный ток — малая автоматика в какой-то мере компенсирует рост коллекторного тока.

Такая же малая автоматика работает в схеме Р-94; 6, которая встречается очень часто. Здесь смещение на базу (не забывайте, что это напряжение на эмиттерном переходе, то есть между эмиттером и базой) складывается из двух напряжений — $U'_{см}$, которое снимается с делителя $R_{б1}$, $R_{б2}$ и $U''_{см}$, которое появляется на $R_э$ благодаря тому, что по этому резистору проходит эмиттерный ток. Напряжения эти включены навстречу друг другу, причем $U''_{см}$ обращено к базе своим «плюсом», оно старается (напоминаем о Т-8) уменьшить «минус» на базе, закрыть транзистор. При нагревании транзистора, как обычно, возрастает $I_{ко}$ и, как обычно, увеличивает коллекторный ток. Но тут же увеличивается напряжение $U''_{см}$, и общий «минус» на базе уменьшается. А это в свою очередь ведет к уменьшению коллекторного тока, к некоторой компенсации вредного влияния температуры. Конечно же, чуда не происходит, коллекторный ток растет с температурой, но из-за мешающего действия $U''_{см}$ он растет не так сильно. Резистор $R_э$ шунтирован конденсатором $C_э$ для того, чтобы переменная составляющая коллекторного тока замыкалась кратчайшим путем, минуя совершенно излишнее для нее сопротивление $R_э$.

Т-163 **Т-163. Транзисторы разной проводимости (*p-n-p* и *n-p-n*) питают напряжениями разной полярности.** Схема Р-86; 3 напоминает: транзисторы разной проводимости могут работать в совершенно одинаковых усилительных каскадах. Нужно лишь помнить, что в таких разных по структуре транзисторах токи идут в противоположном направлении и питающие напряжения должны иметь противоположную полярность. Так, в частности, на коллектор транзистора со структурой *p-n-p* подается «минус», а на коллектор транзистора *n-p-n* — «плюс». Транзистор *p-n-p* отпирается «минусом» на базе, транзистор *n-p-n* опирается «плюсом» на базе. Вместе с тем транзисторы разной проводимости не только прекрасно уживаются в одном и том же аппарате, но в ряде случаев их союз позволяет значительно упрощать схемы (Т-196).

Т-164 **Т-164. Некоторые предварительные соображения о режиме транзисторного усилителя.** Усиление, которое может дать усилитель, мощность «мощной копии» и потребляемая усилителем мощность — словом, все его возможности и потребности — во многом зависят от режима: от токов, которые протекают в каскаде, от напряжений, которые подводят к усилителю или от него получают.

Выбор режима усилителя — дело тонкое и сложное. Оно чем-то напоминает шахматную партию, где каждый ход имеет свои достоинства и недостатки, где зачастую приходится жертвовать чем-то одним ради чего-то другого.

Режим транзисторного усилительного каскада определяется элементами схемы — резисторами, конденсаторами, катушками, источниками питания.

В описаниях практических схем, рекомендованных для повторения, и, конечно же, в схемах промышленной аппаратуры все элементы подобраны

так, что нужный режим транзистора должен получиться сам собой. И все же в процессе налаживания схемы нет-нет, а приходится что-то менять в поисках наилучшего режима. Кроме того, для радиолюбителей готовая схема — это зачастую не более чем линия старта, за которую неотвратимо влечет желание искать, придумывать, улучшать (Т-289).

Попробуем подвести предварительный итог того, что было рассказано об усилении и усилителях, изложим некоторые соображения о том, что, как и насколько влияет на режим транзистора (Р-95).

Соображение № 1. Чем больше отрицательное смещение на базу (здесь и дальше имеются в виду транзисторы *p-n-p*), тем больше коллекторный ток, а значит, и мощность, потребляемая транзистором. Для экономного расходования коллекторной батареи смещение на базу следует делать поменьше.

Соображение № 2. Слишком малое смещение может привести к искажениям: в какие-то моменты «плюс» входного сигнала перекроет «минус» смещения, транзистор окажется запертым, произойдет отсечка коллекторного тока.

Соображение № 3. Смещение на базу устанавливают с учетом уровня входного сигнала: чем меньше этот сигнал, тем меньше можно открывать транзистор, экономя при этом энергию батареи.

Соображение № 4. С увеличением сопротивления нагрузки растет переменное напряжение на ней, а значит, и мощность усиленного сигнала на выходе усилителя.

Соображение № 5. Но при слишком большом сопротивлении нагрузки напряжение на ней окажется настолько большим, что в какие-то моменты на коллекторе вообще ничего не останется. И опять-таки возникнут искажения сигнала.

Соображение № 6. Увеличивая напряжение питания, мы, по сути дела, увеличиваем мощность, потребляемую от батареи, а также мощность, которая расходуется на нагрев транзистора.

Соображение № 7. Само по себе увеличение питающего напряжения ничего не дает: переменная составляющая коллекторного тока и переменное напряжение на нагрузке какими были, такими и останутся.

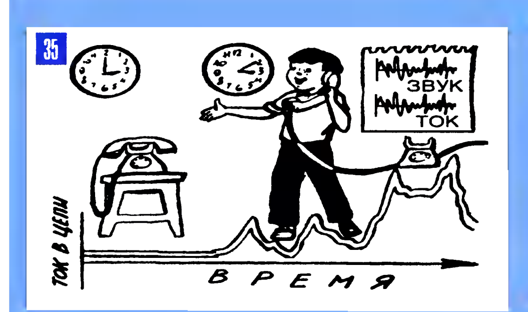
Соображение № 8. Но в то же время если поднять напряжение питания, то появится возможность увеличить сопротивление нагрузки и получить большее напряжение на нагрузке, не опасаясь оставить коллектор без «минуса» (соображение № 5).

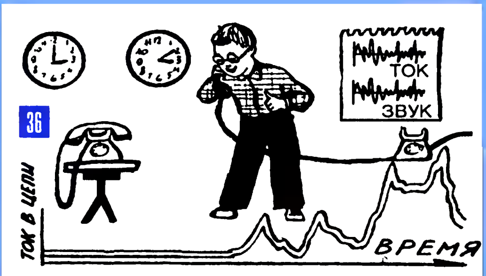
Соображение № 9. Уменьшение сопротивления нагрузки $R_н$ и тем более ее короткое замыкание могут представить большую опасность для транзистора, прежде всего для мощного. Вспомните: мощность, которая рассеивается на транзисторе и нагревает его,— это произведение коллекторного тока на коллекторное напряжение. При включенной нагрузке максимальному коллекторному току соответствует минимальное напряжение на коллекторе и получаемая транзистором мощность сравнительно невелика. А вот если сопротивление нагрузки равно нулю, то напряжение на коллекторе всегда равно напряжению питания. И в момент максимального коллекторного тока в транзисторе может выделиться настолько большая мощность, что он ее просто не выдержит.

Соображение № 10. Оно навеяно предыдущим, девятым, и сводится к простой истине: работая с транзистором, нужно помнить о его возможностях, о предельно допустимых токах и напряжениях. Вывести из строя транзистор можно многими разными способами — превысив любой из токов или

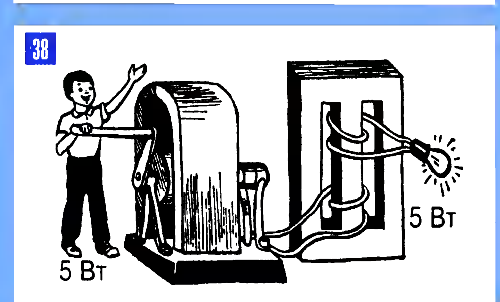
любое из напряжений. Об этом можно сказать иначе: транзистор надежно работает, если не требовать от него больше, чем он может дать.

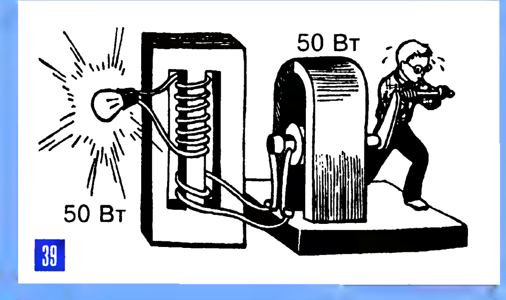
А сейчас, узнав немало интересного об усилителях, мы переходим к другому огромному классу электронных устройств — к генераторам.

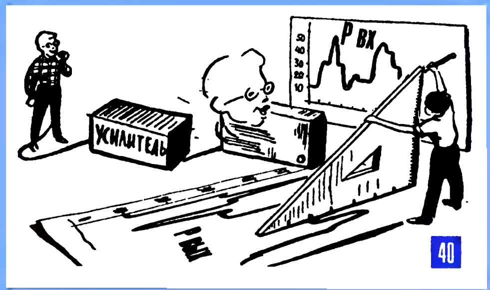
















ГЛАВА 11

ПРЕВРАЩЕНИЕ В ГЕНЕРАТОР

Т-165. В электронной аппаратуре широко используются различные генераторы переменного напряжения. В точном переводе слово «генератор» означает «создающий», «рождающий», а электрическими генераторами называют самые разные преобразователи, которые вырабатывают электрическую энергию,— машинный генератор, химический источник тока, преобразователи тепловой и световой энергии в электрическую. Электрические генераторы очень широко используются в электронной аппаратуре как самостоятельные схемные узлы. Это генераторы, которые преобразуют электрическую энергию в электрическую энергию, но несколько иного вида: они потребляют постоянный ток, а создают переменный, меняющийся. Для краткости все поясняющие слова просто опускают, и когда говорят «электронный генератор» или просто «генератор», то имеют в виду схему, на выходе которой действует переменное напряжение определенной частоты и формы и которая при этом получает только питание. Т-165

За примерами применения генераторов далеко ходить не нужно. В радиопередатчиках генераторы создают переменный ток, который в итоге излучает радиоволны. В электронном музыкальном инструменте генераторы заставляют звучать громкоговоритель. В телевизоре с помощью меняющихся токов отклоняют электронный луч, заставляют его бегать по экрану и рисовать картинку. Даже в карманном приемнике, как правило, есть вспомогательный генератор, который помогает лучше отделять одну станцию от другой. Можно наверняка сказать, что после усилителя генератор — самый распространенный элемент электронной аппаратуры.

Т-166. Источником переменного напряжения может быть колебательный контур. Нам уже встречалось несколько устройств, на выходе которых действует переменное напряжение. Первое из них — машинный генератор (Т-62). Для электронной аппаратуры, пожалуй, не подойдет этот сложный агрегат с вращающимися деталями, не говоря уже о том, что от электронных генераторов часто требуются мегагерцы и гигагерцы, частоты, недоступные для машинного генератора. Отпадают и генераторы микрофонного типа (Т-109): в них за переменное напряжение нужно платить переменным перемещением. А где его возьмешь? Т-166

Остается пока один достойный претендент на роль электронного генератора — колебательный контур (Т-86).

Колебательный контур — это электрическая цепь, состоящая из конденсатора $C_к$, катушки $L_к$ и резистора $R_к$ (Р-96; 1). Правда, резистора как такового в контуре не бывает, и $R_к$ отображает собственное сопротивление контура, в которое входит сопротивление катушки, потери энергии в конден-

саторе, другие виды потерь и затрат. До сих пор мы встречали контур в роли резонансного фильтра в цепи переменных токов. А теперь извлечем его оттуда и посмотрим, что произойдет, если отделить контур от всех других электрических цепей и передать ему порцию энергии, например зарядив конденсатор (Р-96; 2, 3) до напряжения U_c.

А произойдет, скорее всего, вот что. Конденсатор сразу же начнет разряжаться через катушку $L_к$, в контуре пойдет ток $I_к$, вокруг катушки появится магнитное поле. Когда разряд конденсатора закончится, ток в цепи не прекратится, его будет поддерживать э.д.с. самоиндукции, которую создаст убывающее магнитное поле катушки. Для пустого разрядившегося конденсатора это будет зарядный ток, он зарядит конденсатор, но уже, конечно, в обратной полярности. И когда катушка завершит свою деятельность, когда ее магнитное поле исчезнет и перестанет действовать э.д.с. самоиндукции, ток в цепи все равно не прекратится, его будет создавать разряжающийся конденсатор. Но это уже ток обратного направления, поскольку противоположна и полярность напряжения на конденсаторе (Р-96; 4).

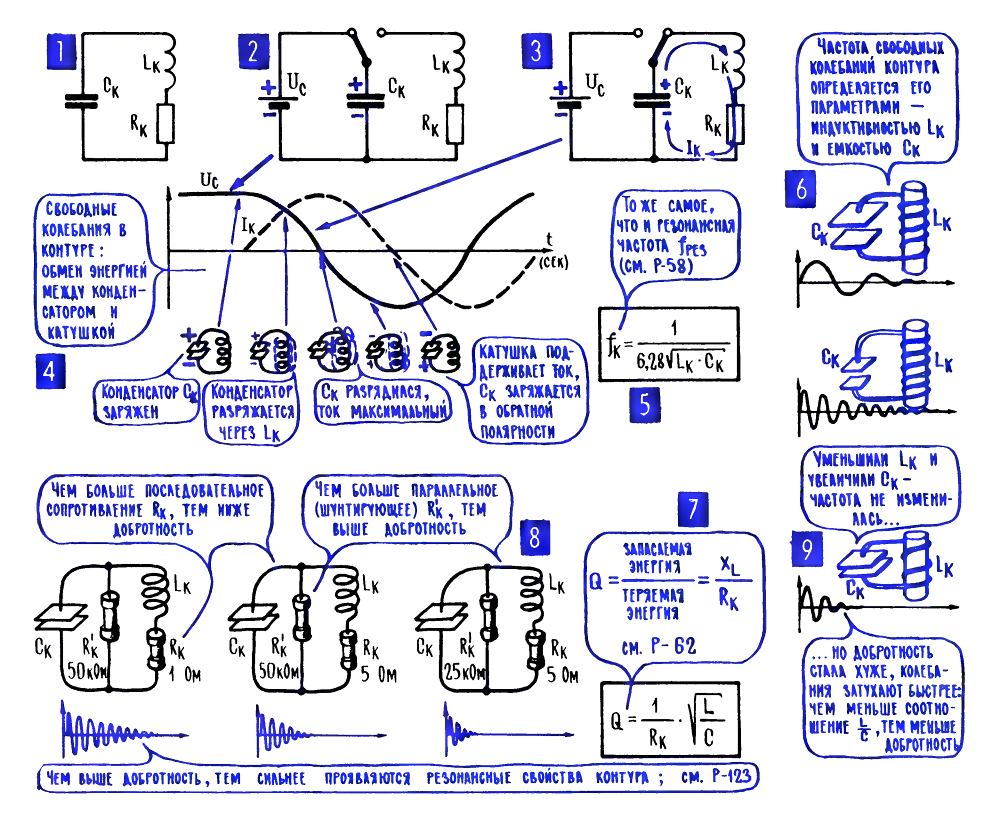
И снова все пойдет по знакомому сценарию. Конденсатор разрядился, но ток поддерживает катушка. Магнитное поле катушки исчезает, конденсатор вновь оказался заряженным. Конденсатор разрядился, но ток поддерживает катушка. Магнитное поле катушки исчезло, а конденсатор вновь оказался заряженным. И так цикл за циклом будет заряжаться и разряжаться конденсатор, нарастать и убывать магнитное поле катушки, меняться ток в контуре, напряжение на конденсаторе и катушке. Будут происходить электромагнитные (иногда для краткости говорят «электрические») колебания в контуре.

Т-167

Т-167. Частота свободных колебаний в контуре определяется его индуктивностью и емкостью. Эти электрические колебания в контуре относятся к огромному классу процессов, имя которому свободные колебания (Т-91). У электрических колебаний те же главные приметы и повадки, что и, скажем, у колебаний маятника или струны, хотя, конечно, в колебания вовлечены совсем иные физические процессы. Как и в любой колебательной системе, в контуре есть два накопителя энергии — электрическое поле конденсатора и магнитное поле катушки. Накопители эти действуют не каждый сам по себе, они взаимосвязаны: когда магнитное поле убывает, то э.д.с. самоиндукции заряжает конденсатор, а когда конденсатор разряжается, то в цепи идет ток, который запасает энергию в магнитном поле катушки. Именно обмен энергией между двумя ее накопителями — конденсатором и катушкой — и приводит к колебаниям, к изменению тока в контуре, напряжений на его элементах.

Частота свободных электрических колебаний в контуре зависит от его параметров — индуктивности $L_к$ и емкости $C_к$, так же как частота свободных механических колебаний струны зависит от ее массы и гибкости (Т-92). Чем больше емкость конденсатора $C_к$ и индуктивность катушки $L_к$, тем медленнее они накапливают и отдают энергию, тем медленнее происходит обмен энергией между этими накопителями, тем ниже частота свободных электрических колебаний (Р-96; 5, 6). Причем частота переменного напряжения и переменного тока в контуре автоматически устанавливается именно такой, чтобы конденсатор и катушка получали одинаковые порции энергии. То есть частота получается такой, что емкостное сопротивление x_C и индуктивное x_L на этой частоте одинаковы. Из условия равенства сопротивлений $x_L = x_C$ легко найти точное значение частоты свободных колебаний — она получается такой же, как резонансная частота контура $f_{рез}$ (Р-58; 1). Логичнее, по-

Р-96



жалуй, сказать — резонансная частота $f_{рез}$ равна частоте свободных колебаний $f_к$.

Очень удобно, что частота свободных колебаний зависит от индуктивности и емкости контура. Это значит, что, изменяя $L_к$ или $C_к$, можно менять частоту переменного напряжения, которую будет давать контур. Если, конечно, он пройдет на роль электронного генератора. Именно «если пройдет»: пока этому мешает одно прискорбное обстоятельство, характерное для всех колебательных систем,— неизбежное затухание колебаний.

Т-168. Чем выше добротность контура, тем медленнее затухают колебания. Т-168
Свободные электрические колебания затухают в контуре постепенно, энергия, первоначально полученная конденсатором, постепенно теряется на сопротивлении $R_к$, превращается в тепло. При этом постепенно уменьшается амплитуда переменного тока, переменные напряжения на катушке и конденсаторе.

То же самое мы уже наблюдали в колеблющейся струне, для нее была введена характеристика «добротность» Q, которая как раз и показывает, от чего зависит время жизни свободных колебаний (Т-93). Подобная характеристика — добротность Q — говорит и о том, насколько бережно относится к своим запасам энергии колебательный контур. Чем больше энергии при каждом перекачивании уходит в запас, в магнитное поле или электрическое поле, и чем меньше энергии при каждом перекачивании превращается в тепло, тем больше добротность Q, тем дольше длятся свободные колебания в контуре (Р-96; 7, 8).

Т-169. Добротность контура тем выше, чем меньше потери энергии, чем больше индуктивность и меньше емкость. Добротность — исключительно важная Т-169

характеристика колебательного контура. Когда контур используется в качестве резонансного фильтра, то именно от добротности зависит, насколько хорошо он будет справляться со своей задачей. Чем выше добротность, тем сильнее контур задавит токи соседних частот и тем лучше выделит, вытащит из аккорда ток своей собственной, резонансной частоты. Когда контур держит экзамен на роль генератора, то именно от добротности зависит, какую он при этом получит оценку, насколько долго будут длиться в контуре собственные колебания.

Но от чего же зависит сама добротность, которая столь сильно влияет на все основные таланты контура?

Можно сразу же сказать, что добротность зависит от потерь энергии в контуре: чем меньше потери, чем меньше $R_к$, тем выше добротность Q. Иногда потери отображаются не только последовательным резистором $R_к$, но еще и параллельным резистором $R'_к$, а бывает, что такой резистор $R'_к$ в действительности подключен параллельно контуру, шунтирует контур, старается отвести, отобрать часть циркулирующего в контуре тока. И чем меньше $R'_к$, тем бо́льшая часть энергии в него уходит, тем ниже добротность.

Есть еще одна зависимость, не сразу, может быть, заметная,— добротность контура зависит от соотношения $L_к$ и $C_к$. В процессе каждого перекачивания энергии вся она делится на две части, часть энергии поглощается активным сопротивлением $R_к$, а другую часть отбирает один из накопителей, конденсатор или катушка. То, что достается резистору $R_к$, пропадает безвозвратно; то, что попадает реактивному сопротивлению $L_к$ или $C_к$, остается в контуре. Поэтому и оказывается, что добротность контура — не что иное, как отношение реактивного сопротивления к активному — x_L к $R_к$ (Р-96; 7) или, что то же самое, x_C к $R_к$ (поскольку $x_L = x_C$ на частоте $f_к = f_{рез}$).

Сделав простейшие преобразования, можно получить выражение для добротности и увидеть, что она зависит от соотношения $L_к$ и $C_к$ (Р-96; 9). Но даже без преобразований легко прийти к выводу, что добротность Q тем больше, чем больше $L_к$, и тем меньше, чем больше $C_к$. Потому, что с увеличением $L_к$ возрастает реактивное сопротивление x_L, которое отбирает энергию у ненасытного $R_к$, отбирает с тем, чтобы вскоре вернуть в контур. А с увеличением $C_к$ емкостное сопротивление x_C уменьшается, конденсатор

С-17

С-17. ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА

Для генераторов с колебательным контуром частота генерируемого напряжения в равной мере зависит от индуктивности L и емкости C (Р-58). В таблице приводятся частоты, приближенно соответствующие некоторым сочетаниям этих параметров.

L	5 *Гн*	1 *Гн*	100 *мГн*	3 *мГн*	3 *мГн*	300 *мкГн*	1000 *мкГн*	250 *мкГн*	10 *мкГн*
C	10 *мкФ*	1 *мкФ*	0,1 *мкФ*	400 *пФ*	45 *пФ*	400 *пФ*	120 *пФ*	500 *пФ*	25 *пФ*
f	22,5 *Гц*	160 *Гц*	1,6 *кГц*	140 *кГц*	420 *кГц*	460 *кГц*	460 *кГц*	460 *кГц*	10 *МГц*

Частота RC-генератора определяется параметрами фазовращающих цепочек (Р-98) и может быть подсчитана по приближенной формуле $f = 5300 : RC$; здесь f — частота в *Гц*; R и C — сопротивление и емкость одной из трех фазовращающих цепочек, соответственно в *кОм* и *мкФ*. Частота мультивибраторов приближенно подсчитывается по формуле: $f = 7250 : RC$, где f — частота в *Гц*; R и C — сопротивление и емкость одной из базовых RC-цепочек (Р-99) соответственно в *кОм* и *мкФ*.

забирает себе меньше энергии. Более того, приходится еще и $L_к$ уменьшать, чтобы при увеличении $C_к$ сохранить неизменной $f_к$.

Зависимость добротности Q от $L_к$ и $C_к$ накладывает серьезные ограничения на выбор параметров контура. Конечно же, частота свободных колебаний $f_к$ в равной мере зависит и от $L_к$ и от $C_к$: одну и ту же частоту можно получить при самых разных соотношениях индуктивности и емкости подобно тому, как одну и ту же площадь прямоугольника можно получить при разных соотношениях его сторон. Если в несколько раз увеличить $L_к$ и во столько же раз уменьшить $C_к$, то частота $f_к$ не изменится. Можно как угодно менять эти параметры, лишь бы только сохранялось неизменным произведение $L_кC_к$, которое и определяет частоту $f_к$. Но если нужно не просто получить ту или иную частоту электрических колебаний, а получить ее при высокой добротности контура, то соотношение $L_к$ и $C_к$ уже далеко не безразлично — нужно стараться, чтобы индуктивность контура была побольше, а емкость поменьше (Р-96; 9).

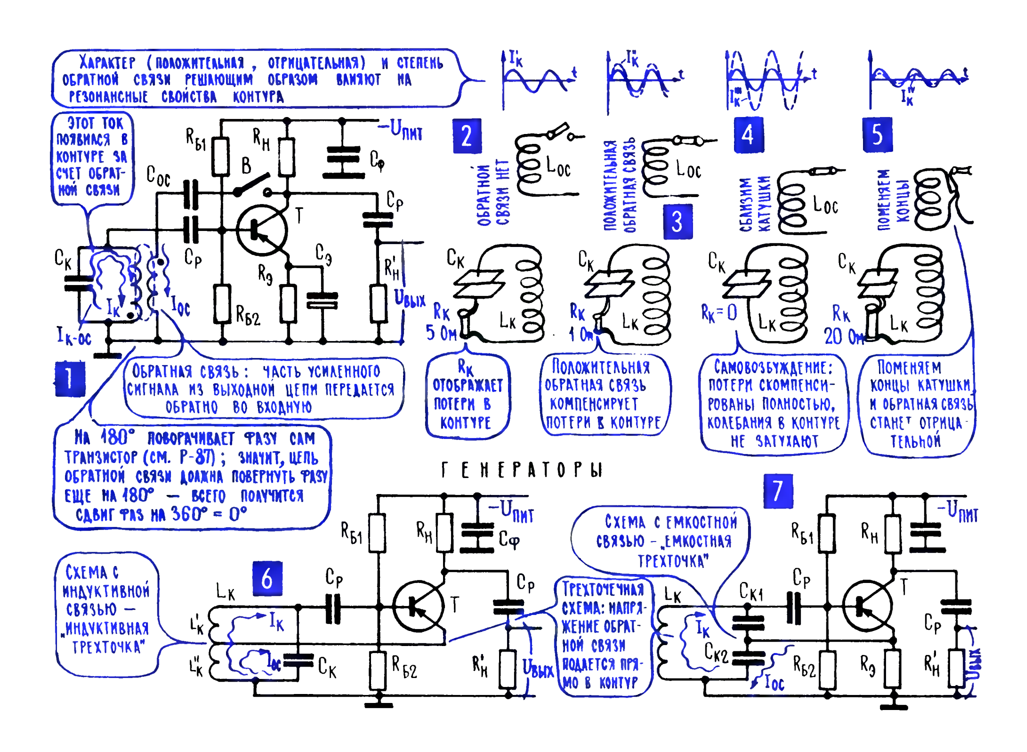
Т-170. Усилитель с положительной обратной связью компенсирует потери энергии в контуре. Колебательный контур сам по себе не может, к сожалению, сдать экзамен на звание электронного генератора. Как ни уменьшай потери и затраты энергии в контуре, свести их к нулю не удастся, в большей степени или в меньшей, но колебания все равно будут затухать. Правда, если поместить контур в сосуд с жидким гелием, то колебания будут существовать в нем многие дни и даже месяцы — температура жидкого гелия близка к абсолютному нулю (—273 °С), и в проводниках при такой температуре наблюдается явление сверхпроводимости: электрический ток не встречает никаких препятствий, не затрачивает энергии, не выделяет тепла. Поэтому в контуре, помещенном в жидкий гелий, почти нет потерь энергии, его добротность чрезвычайно велика.

Но такой сверхзамороженный контур не может работать генератором. И не только потому, что сложная система поддержания сверхнизкой температуры неприемлема даже для таких аппаратов, как телевизор, не говоря уже о переносных приемниках. Главное в том, что генератор в электронных установках — это не экспонат, а работающий блок, он должен не просто создавать переменное напряжение, но и отдавать энергию потребителю. А всякая передача энергии равносильна появлению в контуре некоторого дополнительного сопротивления, равносильна увеличению $R_к$. Поэтому даже в идеальном контуре-генераторе, как только он начнет работать, начнет отдавать энергию, колебания быстро затухнут, просто иссякнет запас энергии.

И все же можно получить в контуре незатухающие колебания. О том, как это сделать, подсказывают настенные часы, маятник которых беспрерывно колеблется, как будто нет ни трения в системе его подвеса, ни сопротивления воздуха. А еще качели, которые, если ты сумеешь раскачать их в такт с собственными колебаниями, тоже не будут останавливаться до тех пор, пока не надоест качаться.

Маятник часов и качели подсказывают тактику получения незатухающих электрических колебаний в контуре: полностью ликвидировать потери и затраты энергии нельзя, но их можно скомпенсировать, если извне вводить в контур энергию, которая перекроет все виды потерь и затрат. Для этого достаточно сделать усилитель с положительной обратной связью, например такой, как на Р-97; 1. В этой схеме контур $L_кC_к$ включен в цепь базы и затухающее переменное напряжение на контуре есть не что иное, как усиливаемый сигнал. А в коллекторную цепь включена нагрузка $R_н$ и еще один, новый

Р-97



элемент — катушка обратной связи L_{oc}. Она связана с контурной катушкой $L_к$ общим магнитным полем, и через этот трансформатор часть «мощной копии» из коллекторной цепи, то есть с выхода усилителя, подается на его вход, поступает в базовую цепь.

Нормальная прямая связь входа и выхода в усилителе — это влияние входа на выход, влияние базовой цепи на коллекторную (в лампе — сеточной на анодную). А влияние выхода на вход, передача сигнала или какой-то его части из коллекторной цепи в базовую — это обратная связь. Типичный пример обратной связи — это передача энергии из катушки L_{oc} в катушку $L_к$. При определенных условиях энергия, поступившая по цепи обратной связи в контур, полностью скомпенсирует все потери в нем и электрические колебания в контуре станут незатухающими.

Но это только при определенных условиях.

Т-171

Т-171. Для самовозбуждения генератора нужно выполнить два условия — условие фаз и условие связи. Переменное напряжение, которое подается на вход усилителя, иногда называют сигналом возбуждения. Потому что именно оно пробуждает к действию дремавший до того усилитель, заставляет меняться коллекторный ток, напряжение на нагрузке и на коллекторе, создает свою мощную копию. Если во входную цепь усилителя включить колебательный контур, то возбуждающим сигналом будет переменное напряжение на этом контуре. Действовать оно будет не долго, так как колебания в контуре затухают. Но если в контуре будут созданы незатухающие колебания, то усилитель превратится в генератор, на его базе непрерывно будет действовать переменное напряжение, в коллекторной цепи появится долгоживущий, устойчивый переменный ток, на нагрузке — устойчивое переменное напряжение. Такой режим называется самовозбуждением: он появляется только благодаря тому, что усилитель — теперь уже генератор — сам себе на вход

подает возбуждающее напряжение, которое поддерживает свободные колебания в контуре.

Для самовозбуждения прежде всего нужно, чтобы сигнал, поступающий на вход из коллекторной цепи, поддерживал колебания в контуре (Р-97; 3, 4), а не мешал им (Р-97; 5), что в принципе тоже возможно. Иными словами, нужно, чтобы собственный переменный ток в контуре и $I_к$ и ток $I_{ос}$, наведенный катушкой обратной связи, действовали бы в фазе. В схеме Р-97; 1 выполнить это условие — условие фаз — очень просто, нужно лишь правильно включить катушку $L_{ос}$. При налаживании генератора, добиваясь самовозбуждения, просто переворачивают одну из катушек «вверх ногами». А если это неудобно, то меняют местами концы катушки $L_к$ или, что то же самое, концы катушки $L_{ос}$. При переворачивании катушки или смене ее концов фаза тока $I_{ос}$, наведенного в $L_к$, поворачивается на 180°, и если токи $I_к$ и $I_{ос}$ действовали в противофазе, они начинают работать согласованно. А это как раз и значит, что сигнал, попавший в контур по каналу связи, восполняет энергию, которую съедает $R_к$, и как бы уменьшает его.

Но для самовозбуждения нужно не просто уменьшить $R_к$, а уменьшить его до нуля, полностью скомпенсировать потери в контуре. А значит, нужно выполнить еще одно условие — условие связи, передать в контур энергию не только в нужной фазе, но еще и в нужном количестве. В генераторе по схеме Р-97; 1 выполнить условие связи тоже несложно — нужно сближать катушки $L_к$ и $L_{ос}$ или в крайнем случае увеличить число витков катушки обратной связи.

Т-172. В трехточечных схемах генераторов напряжение обратной связи снимается с части контура. Схема генератора Р-97; 1 называется схемой с трансформаторной обратной связью. Есть два совершенно равноправных варианта такой схемы. В одном случае контур включается в базовую цепь (в реальных схемах транзистор обязательно подключается лишь к части контура, иначе низкое входное сопротивление транзистора сильно зашунтирует контур; Р-96; 8), а катушка обратной связи — в коллекторную. А во втором варианте, наоборот, в коллекторной цепи находится контур, выполняющий здесь роль нагрузки, а катушка обратной связи включена во входную цепь. События в обеих схемах, как и вообще во всех генераторах, разворачиваются одинаково. Первый же толчок тока, например при включении питания или из-за того, что на базу попал лишний электрон, и в контуре начинаются свободные колебания, которые благодаря обратной связи оказываются незатухающими. Схемы с трансформаторной обратной связью очень популярны и весьма удобны. Единственное, что, пожалуй, можно поставить им в упрек, так это дополнительную катушку $L_{ос}$.

В некоторых генераторах отдельная катушка обратной связи не нужна, в них сигнал обратной связи снимается с части колебательного контура. Это так называемые трехточечные схемы, в них транзистор подключен к контуру тремя точками — эмиттером, базой и коллектором (в ламповых генераторах — катодом, сеткой и анодом). В зависимости от того, откуда берут напряжение обратной связи — с катушки или конденсатора,— различают трехточечные схемы с индуктивной (Р-97; 6) или с емкостной обратной связью (Р-97; 7). В обеих этих схемах условие фаз выполняется в том случае, если эмиттер подключен к средней части контура, а коллектор и база — к его краям. А выполнение условия связи связано с тем, какая часть контурной емкости или индуктивности подключена к участку база — эмиттер.

В трехточечной схеме с индуктивной связью с выхода транзистора на его вход подается тем большая часть энергии, чем большая часть $L'_к$ контурной

катушки $L_к$ включена между базой и эмиттером. Это значит, что, перемещая точку подключения эмиттера вниз по схеме, мы усиливаем обратную связь. Однако при этом одновременно уменьшается коллекторная нагрузка: нагрузкой в этой схеме оказывается не весь контур, а только та часть его $L''_к$, которая включена между коллектором и эмиттером (верхний по схеме конец $L''_к$ подключен к эмиттеру, нижний — к коллектору через конденсатор фильтра $C_ф$). Задумываясь над тем, к чему может привести то или иное действие при налаживании схемы, иногда полезно рассмотреть крайний случай. Попробуем, в погоне за стопроцентной обратной связью, подключить эмиттер к крайней нижней точке катушки $L_к$, то есть передать с выхода на вход все, что только возможно, весь выходной сигнал целиком. Но при этом окажется, что обратная связь не имеет никакого смысла, потому что транзистор не дает никакого усиления и на его выходе вообще нет сигнала. Мы возвращаем на вход 100 процентов от «ничего». Потому что транзистор остался без нагрузки.

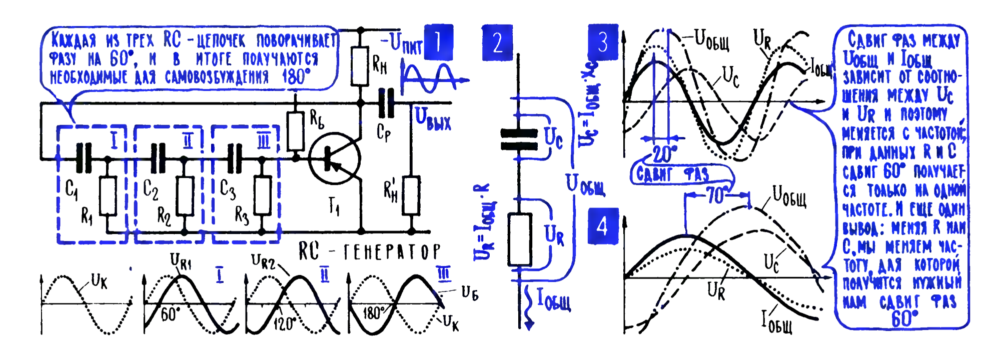
В емкостной трехточечной схеме напряжение обратной связи снимается с делителя, который образован конденсаторами $C_{к_1}$ и $C_{к_2}$. Здесь обратная связь тем сильней, чем больше емкостное сопротивление верхнего по схеме участка (конденсатор $C_{к_1}$), а коллекторная нагрузка тем больше, чем больше емкостное сопротивление нижнего по схеме участка (конденсатор $C_{к_2}$). Емкостное сопротивление конденсатора обратно пропорционально его емкости, а поэтому с увеличением емкости $C_{к_1}$ обратная связь ослабляется. А с увеличением емкости $C_{к_2}$ сопротивление коллекторной нагрузки становится меньше. Все осложняется еще тем, что оба конденсатора определяют общую емкость контура $C_к$, а значит, и частоту электрических колебаний $f_к$ в нем. В схеме появляется еще одна деталь — резистор $R_э$. Без него генератор вообще не работает — эмиттер отрезан от коллектора конденсаторами, и постоянная составляющая коллекторного тока может замкнуться только через $R_э$. А посадить эмиттер на землю, как это делалось в других схемах, нельзя — окажется замкнутым накоротко конденсатор $C_{к_2}$.

У трехточечной схемы с емкостной обратной связью есть некоторое преимущество в сравнении с другими схемами. Если изменять частоту генератора, заменяя контурные катушки, то в этой схеме достаточно производить переключение только одного провода (верхний конец катушки), в то время как в других схемах нужно одновременно производить два переключения (например, переключать верхний конец катушки и отвод обратной связи в схеме Р-97; 7).

Во всех схемах генераторов присутствует незримый элемент — резистор $R'_н$. Генератор работает не сам для себя, а передает результаты своей работы потребителю, который представлен резистором $R'_н$.

T-173

Т-173. RC-генератор: необходимый поворот фазы постепенно осуществляют цепочки из конденсаторов и резисторов. Обратную связь в генераторах назвали положительной потому, что она поддерживает изменения сигнала на входе, помогает ему. Но в принципе возможна еще и отрицательная обратная связь, когда сигнал, поступивший с выхода усилителя на его вход, действует против основного, главного входного сигнала, мешает ему (Р-97; 5). Отрицательная обратная связь вскоре станет для нас предметом серьезных раздумий и тонких экспериментов (Т-197, Т-198), а пока отметим лишь одно: если с коллектора подать сигнал прямо на базу, то обратная связь получится именно отрицательной. Потому что, когда «минус» на базе увеличивается, на коллекторе «минус» уменьшается, то есть коллекторное напряжение, попав на базу, будет действовать против собственного напряжения на базе. Или, короче, напряжение на базе и напряжение на коллекторе — про-



Р-98

тивофазны. А отсюда еще одна формулировка условия фаз: для получения положительной обратной связи при передаче сигнала из коллекторной цепи в базовую нужно повернуть фазу этого сигнала на 180°. Коллекторное и базовое напряжения сами по себе сдвинутся на 180° и дополнительный поворот на 180° доведет общий сдвиг фаз до 360°, то есть на целый период. А это значит, что никакого сдвига фаз не будет: «свое» напряжение на базе и та помощь, которая придет на базу по цепи обратной связи, будут действовать согласованно.

В генераторе с трансформаторной обратной связью поворот фазы на 180° получают определенным расположением и включением катушек, в трехточечных схемах — определенным подключением транзистора к контуру (эмиттер — в центре, коллектор и база — по краям). И есть еще одна возможность выполнить условие фаз: при передаче сигнала с коллектора на базу можно повернуть фазу сигнала на 180° с помощью нескольких последовательно соединенных *RC*-цепочек. Генератор, в котором используется такой способ поворота фазы, так и называется *RC*-генератором, одна из возможных его упрощенных схем приведена на Р-98. По-видимому, первое, что в этой схеме бросается в глаза, так это отсутствие колебательного контура. Но как же без контура? Где же тогда возникают первые слабые, затухающие колебания, которые потом поддерживает обратная связь, делая их незатухающими? И какие элементы в таком бесконтурном генераторе определяют частоту переменного напряжения? В предыдущих схемах частота определялась индуктивностью и емкостью контура.

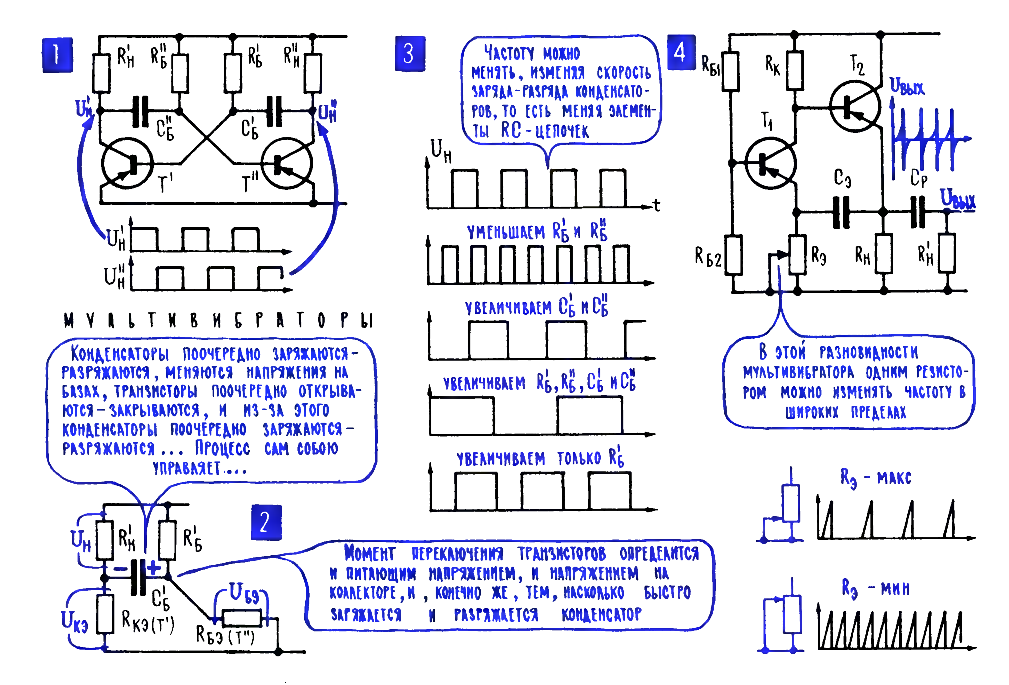
А здесь чем?

Начнем с конца: частоту определяют три *RC*-цепочки, соотношение сопротивлений и емкостей в них. Дело в том, что вся система *RC*-элементов поворачивает фазу на 180°, но такой поворот происходит только на одной частоте, на других частотах он больше или меньше.

Т-174

Т-174. На входе любого транзистора действует очень небольшое напряжение шумов. На базе транзистора, не только в этой схеме, но в любой другой, всегда действуют слабые сигналы самых разных частот. Откуда? Ну, скажем, это просто так называемые шумы, некоторая неравномерность постоянного тока смещения или постоянного эмиттерного тока, часть которого ответвляется в базу. Идеального постоянного тока нет и быть не может. Если в цепи идет ток, движутся миллиарды миллиардов электронов, то из-за хаотичности тепловых процессов в металле обязательно в какой-то момент электронов пройдет на сто штук больше, а в другой момент — на сто штук меньше. В итоге самый постоянный ток хаотично и непрерывно меняется. Очень незначительно, но меняется. Поэтому-то и появляется на входе любого транзистора хаотичное переменное напряжение, как его называют, напряжение

Р-99



шумов. Спектр шумов очень широк, они практически содержат составляющие всех частот, от самых низких до самых высоких.

Т-175

Т-175. Частота напряжения на выходе RC-генератора определяется сопротивлением и емкостью фазовращающих цепочек. Шумовое напряжение на базе создаст свою копию в коллекторной цепи, и по цепи обратной связи, через все *RC*-цепочки, часть ее попадет обратно на базу. И вот здесь-то оказывается, что в основном все составляющие придут на базу с неудачными фазами, они будут ослаблять породившие их составляющие базовых шумов. И только одна составляющая, для которой три *RC*-цепочки создадут поворот фазы на 180°, добравшись из коллектора в базу, будет поддерживать, усиливать породивший ее сигнал. Эта составляющая шумов базового тока станет еще сильнее и создаст в коллекторной цепи еще более сильную свою копию. А та опять-таки усилит сигнал на базе, и так пойдет: выходное напряжение данной частоты будет нарастать и нарастать, пока его не ограничит коллекторное питание.

В заключение несколько слов о том, почему *RC*-цепочки поворачивают фазу точно на 180°. Ток через резистор и напряжение на нем U_R совпадают по фазе, ток через конденсатор и напряжение U_C на нем сдвинуты по фазе на 90° (Р-98; 2, 3. Т-71, Т-75). Во всех элементах последовательной цепи ток один и тот же — $I_{общ}$, а общее напряжение $U_{общ}$ равно сумме напряжений U_R и U_C на отдельных участках.

Ну а сдвиг фаз? Одно напряжение совпадает по фазе с током, второе опережает ток на 90°, так как же соотносятся фазы тока и общего напряжения $U_{общ}$?

Чем больше x_C какой-либо *RC*-цепочки, тем больше напряжение U_C на конденсаторе и тем ближе к 90° сдвиг фаз между током $I_{общ}$ и общим напряжением $U_{общ}$. А чем больше R, тем более «активный характер» имеет сопротивление всей цепи, тем меньше сдвиг фаз между $I_{общ}$ и $U_{общ}$. Существует частота, на которой при данном соотношении C и R сдвиг фаз между $I_{общ}$ и $U_{общ}$

равен 60°, и три такие цепочки поворачивают фазу в сумме на 180° (Р-98; 3). Если изменить R или C в фазовращающих RC-цепочках, то сразу же изменится соотношение между R и x_C. И прежнее соотношение между $I_{общ}$ и $U_{общ}$, а значит, и прежний сдвиг фаз в 60° будут уже на другой частоте. А отсюда вывод: при изменении R или C изменится частота переменного напряжения на выходе генератора. Существуют и другие схемы генераторов с фазовращающими RC-цепочками, но механизм генерирования переменного напряжения у всех у них одинаков.

Т-176. В мультивибраторе два взаимосвязанных транзистора поочередно открывают друг друга, генерируют переменное напряжение прямоугольной формы. Есть бесконтурные генераторы, работающие на совершенно ином принципе. Это прежде всего мультивибратор (Р-99), в котором работают два транзистора, причем каждый из них управляет работой другого — коллектор каждого транзистора через конденсатор связан с базой своего соседа. Т-176

В бурных событиях, которые происходят в мультивибраторе, немало действующих лиц (Р-99; 2). Это напряжения на базах, которые в итоге определяют коллекторные токи, а значит, и напряжения на коллекторах. Это конденсаторы $C'_б$ и $C''_б$, от емкости которых зависит скорость их заряда и разряда, а значит, и время существования токов, которые влияют на режимы транзисторов. Это еще и резисторы $R'_б$ и $R''_б$, которые не только определяют режимы транзисторов своими обычными методами, но еще и участвуют в заряде и разряде конденсаторов и тоже влияют на скорость этих процессов (Т-45).

Если детально разобраться в том, что происходит в мультивибраторе, в какие моменты времени, какие напряжения приложены к конденсаторам, какой величины и какого направления текут токи, как конкретно эти токи влияют на режимы транзисторов, то окажется, что транзисторы T_1 и T_2 внимательно следят друг за другом, каждый из них мгновенно реагирует на действия соседа. Именно мгновенно: такой быстроте реакции позавидовал бы любой боксер.

Как только один из транзисторов открывается, второй тут же закрывается — это результат сложного взаимодействия токов и напряжений в схеме. Проходит некоторое время (оно-то как раз и определяется скоростью заряда и разряда конденсаторов), закрытый транзистор мгновенно открывается, и тут же ответный удар — закрывается второй транзистор. В итоге транзисторы периодически и поочередно открываются и закрываются, а значит, токи у них и напряжение на коллекторах периодически меняются от своей наибольшей величины до наименьшей. На выходах мультивибратора (у него два выхода, поскольку два транзистора) появляются меняющиеся напряжения и токи, электронный генератор действует.

Т-177. На частоту колебаний в мультивибраторе влияют сопротивления и емкости всех его элементов. Частота переменных напряжений на выходах мультивибратора зависит от емкости конденсаторов и сопротивления резисторов, которые входят в его схему, и еще от смещения на базах, которое приходится преодолевать, чтобы запирать транзисторы. Практически изменение любого элемента схемы приводит к изменению частоты (Р-99; 3) — с увеличением емкости $C'_б$ и $C''_б$ и сопротивлений $R'_б$, $R''_б$, $R'_н$ и $R''_н$ процессы заряда и разряда конденсаторов, отпирания и запирания транзисторов идут медленнее, частота мультивибратора уменьшается. Но, конечно же, существуют определенные ограничения на выбор элементов схемы, их нельзя менять как угодно, добиваясь нужной частоты. Так, например, чрезмерное уменьшение сопротивлений нагрузки $R'_н$ и $R''_н$ может настолько снизить усиление каскадов, что мультивибратор вообще перестанет работать. Срыв генерации мо- Т-177

жет также произойти из-за чрезмерного уменьшения базовых резисторов $R'_б$ и $R''_б$: «минус» на базе может оказаться таким большим, что разряжающийся конденсатор не сможет его скомпенсировать, не сможет запереть транзистор.

Подбором резисторов частоту мультивибратора удается менять в сравнительно небольших пределах, чтобы резко изменить частоту, приходится менять емкость конденсаторов. В частности, для получения очень низких частот в качестве $C'_б$ и $C''_б$ используют электролитические конденсаторы большой емкости (К-10). Некоторые варианты выбора деталей для мультивибратора на маломощных транзисторах, аналогичных П41, и соответствующие этим деталям частоты приведены в С-17. На Р-99; 4 показана одна из схем мультивибратора, которая устойчиво работает при сравнительно больших изменениях одного из сопротивлений: изменяя $R_э$ можно менять частоту в четыре — восемь раз, что в других схемах можно сделать только за счет изменения емкости.

Т-178

Т-178. Блокинг-генератор: из коллекторной цепи в базовую через трансформатор попадает сигнал, который периодически открывает и закрывает транзистор. Есть еще один распространенный тип генераторов, в котором всеми событиями управляет заряд — разряд конденсатора. Это блокинг-генератор, его упрощенная схема показана на Р-100. Знакомство с работой блокинг-генератора начнем с того момента, когда включено питающее напряжение и в коллекторной цепи появился ток. Нарастающий коллекторный ток сразу через трансформатор наведет напряжение U_{II} в базовой цепи. Причем напряжение такой полярности (это зависит от того, как включена обмотка II), которая способствует еще большему открыванию транзистора. Транзистор открывается лавинообразно до полного насыщения (напряжение на нагрузке максимально, на самом коллекторе около нуля), а ток положительной обратной связи заряжает конденсатор $C_б$ и при этом поддерживает транзистор в открытом состоянии. Но после того как этот конденсатор полностью зарядится до напряжения на обмотке II, ток через него прекратится и транзистор скачком закроется постоянным напряжением на конденсаторе, которое имеет положительную полярность относительно базы. Теперь напряжение U_C на конденсаторе $C_б$ начинает постепенно уменьшаться, он разряжается через резистор $R_б$. И вот наступает такой момент, когда конденсатор уже не может противодействовать «минусу», поступающему на базу через $R_б$: транзистор мгновенно открывается, в коллекторной цепи появляется ток и... И все начинается сначала — опять рывок коллекторного тока, опять заряд конденсатора, опять он закрывает транзистор, постепенный разряд конденсатора и в какой-то момент снова открывание транзистора и очередной рывок коллекторного тока...

Так в блокинг-генераторе транзистор, разумеется с помощью трансформатора и разрядной RC-цепочки, периодически сам себя открывает и закрывает, генерирует меняющееся напряжение. Частота этого напряжения зависит от того, сколько времени проходит от одного отпирания транзистора до следующего, а значит, главным образом зависит от постоянной времени разрядной цепи (Т-45), от сопротивления $R_б$ и емкости $C_б$. Чем они больше, тем медленнее идет процесс разряда, тем ниже частота.

Т-179

Т-179. От генератора часто требуется определенный характер изменения выходного сигнала, определенная форма кривой, спектр. Генератор с колебательным контуром и RC-генератор с фазовращающими цепочками дают на выходе синусоидальное напряжение. Конечно, не идеальную синусоиду, но обычно все же без значительных посторонних примесей. У блокинг-генера-

тора на выходе остроконечные импульсы, у мультивибратора — прямоугольные, спектр и тех и других содержит большое число гармоник. Кстати, и само название «мультивибратор» переводится как генератор, который дает большое число различных колебаний, дает богатый спектр синусоидальных составляющих.

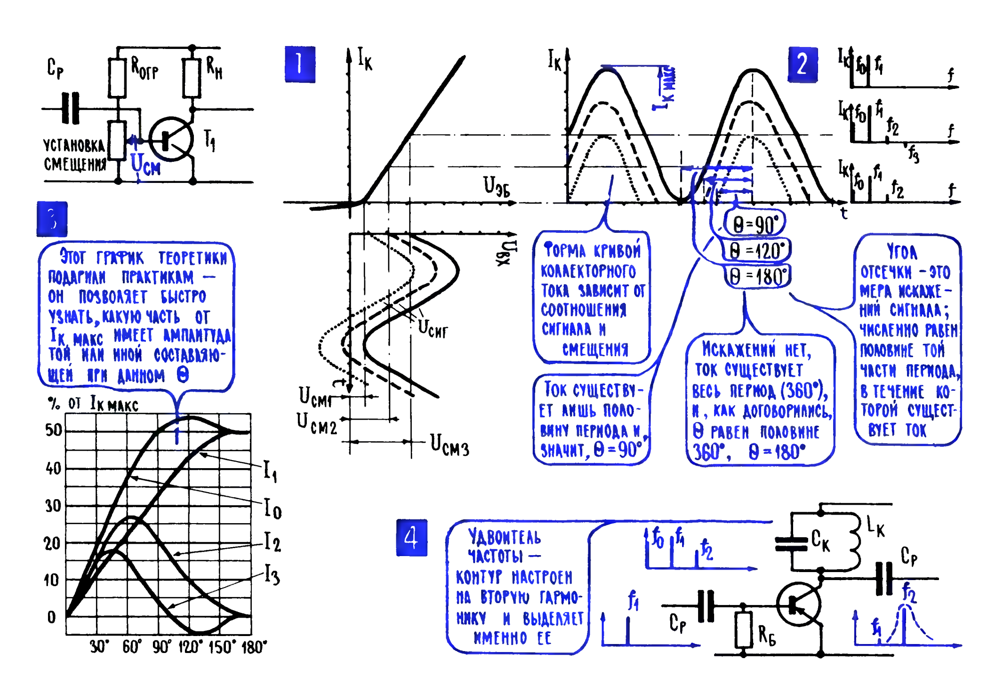
В электронной аппаратуре генераторы выполняют самую разную работу, и от них, бывает, требуются самые разные напряжения. Разные не только по своему уровню, по числу вольт, не только по частоте, но и по характеру изменения, по форме кривой, по спектру. Так, например, в некоторых устройствах автоматики синусоидальное напряжение непригодно, там нужен мультивибратор, на выходе которого напряжение растет не постепенно, как синусоида, а резко, скачкообразно. А для отклонения луча в телевизоре очень удобен генератор пилообразного тока на базе блокинг-генератора: он позволяет равномерно двигать луч по экрану (Т-253), и частоту его сравнительно легко синхронизировать, например, повторяющимися импульсами синхронизации.

Форма напряжения на выходе генератора не есть нечто неприкосновенное и неизменное. Существует много разных способов менять ее и получать от генератора не тот сигнал, что он хочет дать, а тот, что нужно. Влиять на форму сигнала можно с помощью различных фильтров, зарядных *RC*-цепочек, ограничителей, фазовращателей — словом, с помощью самых разных инструментов и методов хирургии электрического сигнала. Для иллюстрации — ультракороткие рассказы о трех из них.

Т-180. В умножителях частоты одну из высших гармоник выделяет настроенный на нее контур. Один способ изменения формы сигнала нам уже встречался — это превращение переменного напряжения в пульсирующее с помощью вентиля, полупроводникового диода (Т-135). Точно такую же операцию может выполнить транзистор (лампа), на который не подано начальное смещение: такой транзистор будет открываться только во время одного из двух полупериодов входного сигнала (на базе «минус»), вторую половину периода (на базе «плюс») коллекторная цепь бездействует. Т-180

Если подать на базу смещение и менять его, то будет меняться и степень «отсечки» коллекторного тока, то есть, по сути, форма выходного сигнала. Введена даже особая мера для формы сигнала — это угол отсечки Θ, половина времени, в течение которого существует ток, выраженная в долях периода, в градусах (Р-101). Так, например, если коллекторный ток существует только полпериода, то мы говорим, что угол отсечки равен 90° (половина от 180°). А если на базу подано нормальное смещение и коллекторный ток существует в течение всего периода, то мы говорим, что угол отсечки равен 180° (половина от 360°), то есть никакой отсечки нет.

Меняя смещение на базу, можно менять и угол отсечки коллекторного тока от 0° (транзистор всегда закрыт) до 180° (отсечки нет, форма кривой не искажается). Точный математический анализ, подтвержденный экспериментами, не хуже, чем таблица умножения, позволяет определить, какие



именно составляющие и в какой пропорции будут появляться при разных углах отсечки. На Р-101; 3 приведен довольно простой график, по которому можно быстро определить, сколько процентов от наибольшей величины коллекторного тока $I_{к\ макс}$ составят амплитуды первой гармоники I_1, второй гармоники I_2, третьей гармоники I_3 и постоянной составляющей I_0. Из этого графика, например, видно, что все гармоники исчезают, когда отсечки нет, то есть при $\Theta = 180°$, что вторая гармоника становится наиболее сильной при $\Theta = 60$, а третья — при $\Theta = 40°$.

Любую из гармоник выходного сигнала можно выделить с помощью резонансного фильтра — колебательного контура, настроенного на соответствующую частоту (Р-101; 4). Эта операция называется умножением частоты и производится довольно часто. Во многих радиопередатчиках, например, несколько раз осуществляют удвоение частоты, выделение второй гармоники из сигнала, который перед этим обязательно искажают, усиливают его с отсечкой ($\Theta = 60°$).

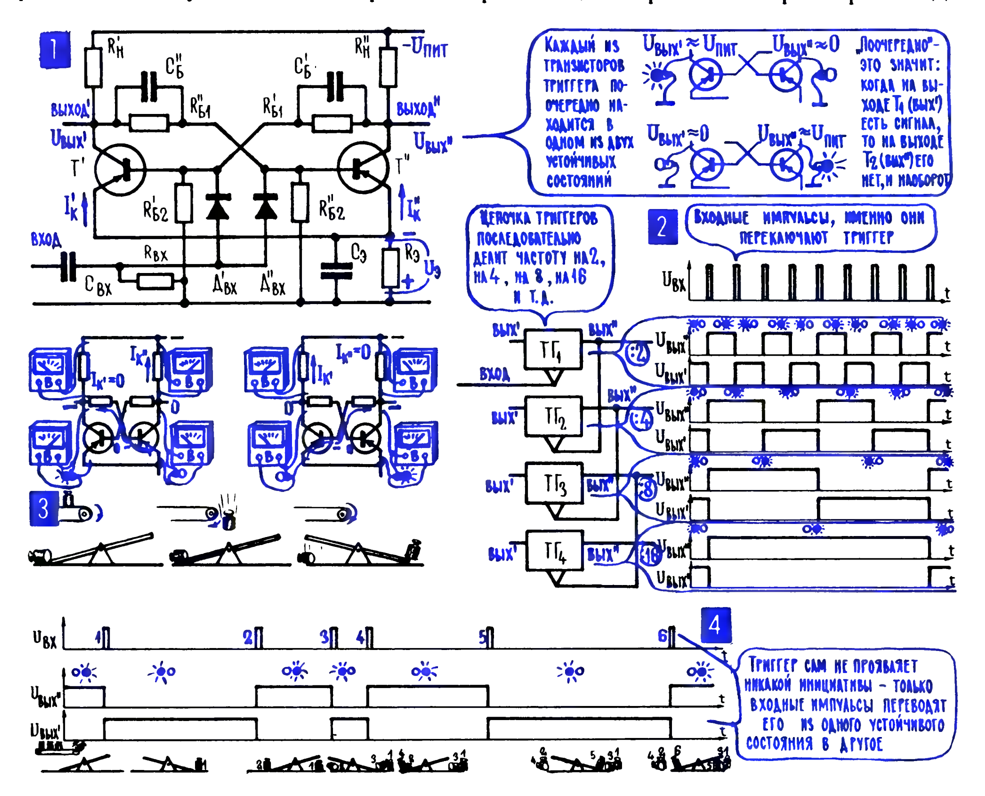
Рассказ об умножении частоты можно завершить экспериментом. С понижающего трансформатора подайте на абонентский громкоговоритель «радиоточку» 5—8 вольт сетевого напряжения, имеющего, как известно, частоту 50 *Гц*. Затем подайте напряжение на громкоговоритель через полупроводниковый диод. В первом случае вы услышите очень низкий чистый тон, во втором звук будет хриплым. Потому что диод изменит форму сигнала, создаст отсечку $\Theta = 90°$ (ток существует только полпериода), и наше ухо услышит все составляющие искаженного сигнала.

Т-181. Триггер срабатывает через такт и делит частоту генератора на два. Можно смело сказать, что триггер — один из самых распространенных схемных узлов современной электроники. Во всяком случае, это главное действующее лицо в электронных вычислительных машинах и многих электронных автоматах. Типичная схема триггера — на Р-102; 1, внешне по начертанию и расположению элементов он похож на мультивибратор. Как и у мульти-

вибратора, в триггере два транзистора. Они так же связаны друг с другом — с коллектора одного сигнал подается на базу другого. Но только в мультивибраторе коллектор транзистора связан с базой своего соседа через конденсатор, а в триггере связь прямая, через резистор. Поэтому каждый транзистор триггера влияет на работу второго транзистора постоянно, долговременно, а не кратковременно, как в мультивибраторе, где все связано с зарядом и разрядом конденсатора, с процессом, который рано или поздно заканчивается. В отличие от мультивибратора в триггере есть вход, куда подаются импульсные сигналы.

Начнем с начала, с того момента, когда на триггер было подано питание. И предположим, что в этот момент оба транзистора оказались слегка открытыми и в обоих шел одинаковый коллекторный ток. Мы уже знаем, что постоянный ток — понятие относительное (Т-174) и в какой-то момент в одном из транзисторов ток случайно окажется чуть-чуть меньше, чем во втором, пусть на доли микроампера, но меньше.

Для определенности предположим, что уменьшился ток $I'_к$ в транзисторе T_1. При этом сразу же несколько поднялось напряжение на его коллекторе (чем меньше коллекторный ток, тем меньше напряжение на нагрузке и больше остается на коллекторе), которое прямо через резистор $R'_{б1}$ «минусом» подается на базу транзистора T''. Раз на базе T'' увеличился «минус», то увеличился коллекторный ток $I''_к$ и на коллекторе этого транзистора «минус» стал меньше. С коллектора T'' «минус» через $R''_{б1}$ подается на базу T', и из-за уменьшения этого «минуса» ток в транзисторе T' еще больше уменьшится. Процесс этот будет лавинообразно нарастать, и через некоторое время один



из транзисторов окажется полностью закрытым, а второй — полностью открытым. В нашем примере закроется T', он покатится в это закрытое состояние из-за случайного незначительного уменьшения коллекторного тока. С таким же успехом мог закрыться и другой транзистор, если бы у него раньше началось такое незначительное уменьшение тока.

Но важно совсем не то, какой транзистор закроется раньше. Важно то, что состояние, когда один из транзисторов закрыт, а второй открыт,— это естественное, устойчивое состояние триггера, он будет находиться в таком состоянии бесконечно долго. Потому что оба транзистора всеми своими силами стараются сохранить устойчивое состояние, в котором случайно оказался триггер — первый, закрытый транзистор всем своим коллекторным «минусом» открывает второй, открытый транзистор, а тот в свою очередь ничтожно малым «минусом» на коллекторе не может противодействовать внешнему напряжению $U_{зап}$ (о нем чуть позже), которое запирает первый транзистор.

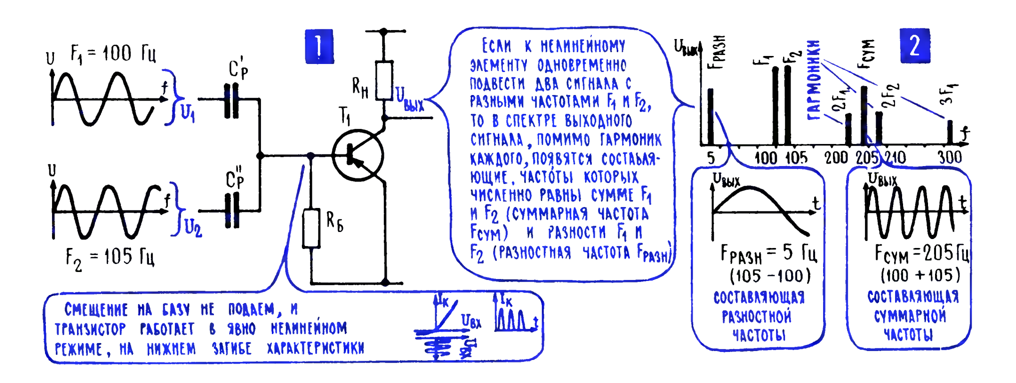
Но вот на вход триггера приходит сигнал, приходит прямоугольный импульс такой полярности, что он стремится открыть оба транзистора. И тут все приходит в движение. Правда, на открытый транзистор входной сигнал не действует — он и так открыт. Но зато дремавший и уставший от бездеятельности (необходимо немедленно освежить в памяти Т-8) закрытый транзистор немедленно открывается. И лавинообразно меняет все токи и напряжения в триггере, закрывает своего конкурента, а сам остается открытым до следующего сигнала на входе.

Так одинаковые входные сигналы поочередно переводят триггер из одного устойчивого состояния в другое, и при этом меняются напряжения на коллекторах транзисторов. Причем меняются они через такт — нечетные импульсы открывают один из транзисторов, четные — второй (Р-102; 2). И если снимать напряжение с одного из транзисторов триггера, безразлично с какого, то число импульсов этого напряжения будет в два раза меньше, чем число импульсов на входе. То есть триггер в два раза уменьшает частоту поступающего на его вход сигнала. А если соединить последовательно несколько триггеров, то можно разделить частоту на 2, на 4, на 8, на 16,— одним словом, в $2n$ раз, где n — любое положительное целое число. А это уже не просто деление частоты, это возможность выполнения арифметических операций и определенной очередности включения электрических цепей, благодаря чему триггеры как раз и используются в вычислительных машинах.

Несколько пояснений к схеме Р-102. Резисторы $R''_{б1}$ и $R'_{б1}$ шунтированы конденсаторами для того, чтобы процесс переброски из одного устойчивого состояния в другое происходил быстрее и надежнее. Диоды $Д'_{вх}$ и $Д''_{вх}$ ослабляют взаимное влияние входных цепей транзисторов T' и T'', а главное, оберегают их от цепей питания. Цепочка $R_эC_э$ — участок, по которому проходит ток открытого транзистора и создает на нем постоянное напряжение $U_{зап}$. Это необходимое для работы триггера запирающее смещение: через $R'_{б2}$ и $R''_{б2}$ оно «плюсом» подается на базы транзисторов, и только «минус», поступающий с коллектора одного из них, отпирает второй транзистор. И еще одно примечание: триггер можно перебрасывать из одного состояния в другое как «минусом», который на мгновенье откроет закрытый транзистор, так и (несколько изменив схему) «плюсом», который резко закроет открытый транзистор.

Т-182

Т-182. В нелинейном элементе два сигнала создают, кроме гармоник, еще и составляющие с суммарной и разностной частотой. С нелинейным процессом мы впервые столкнулись, когда наблюдали за тем, как электрический сигнал



с помощью громкоговорителя создает звуковые волны (Т-117). На характеристике громкоговорителя были отмечены участки с прямой пропорциональной зависимостью «звук — ток», линейные участки. А участки, где нарушалась прямая зависимость между током и звуковым давлением, где начинался загиб характеристики громкоговорителя, были названы нелинейными (Т-115). Теперь, кроме громкоговорителя, мы знаем массу других элементов, имеющих нелинейные характеристики так называемых нелинейных элементов. Это диод, вольт-амперная характеристика которого не только загнута в начале, а вообще изломана в точке, где меняется полярность напряжения. Это и транзистор (лампа), характеристику которого тоже никак не назовешь прямолинейной.

Мы можем также найти немало других примеров той неприятности, с которой впервые столкнулись в громкоговорителе,— нелинейных искажений сигнала. Из-за работы на нелинейных участках вольт-амперных характеристик диода и транзистора в них искажается форма электрического сигнала, в спектре появляются новые составляющие. Это, конечно, плохо, если сигнал нужно усилить без искажений. Но иногда нелинейные искажения создают специально, чтобы изменить спектр сигнала, как, например, в удвоителе частоты — без нелинейного элемента в нем просто невозможно было бы получить вторую гармонику, которую затем выделил контур (Р-101; 4).

Очень интересное преобразование сигнала происходит, когда на нелинейный элемент, например на полупроводниковый диод или на транзистор (лампу), работающий на нелинейном участке характеристики, подают сразу два сигнала (Р-103; 1). В этом случае, как обычно, появятся гармоники каждого из сигналов, синусоидальные составляющие, частоты которых в 2, 3, 4, 5 — словом, в целое число раз больше частоты самого сигнала (Р-101; 2).

Но если внимательно исследовать спектр сигнала, то в нем неожиданно обнаружатся какие-то странные составляющие: их частоты никак нельзя будет отнести ни к гармоникам первого сигнала, ни к гармоникам второго.

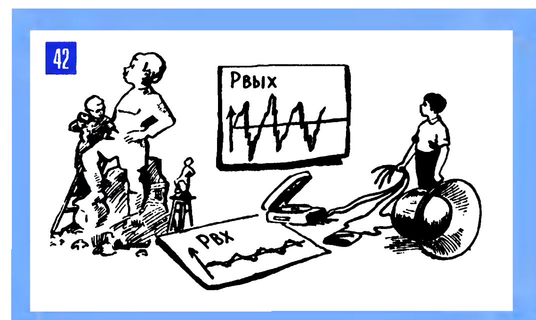
Вот конкретный пример. На вход транзистора подали два переменных напряжения: одно с частотой 100 *Гц*, второе с частотой 105 *Гц*. Изучая сигналы на выходе транзистора, обнаружили в нем составляющие с частотами 100 *Гц*, 200 *Гц*, 300 *Гц* (гармоники первого сигнала) и составляющие с частотами 105 *Гц*, 210 *Гц*, 315 *Гц* (гармоники второго сигнала). И еще оказались в спектре две такие составляющие — одна с частотой 205 *Гц* и вторая с частотой 5 *Гц*. Их, как видите, нельзя отнести к гармоникам, это совершенно особые составляющие — у первой частота равна арифметической сумме

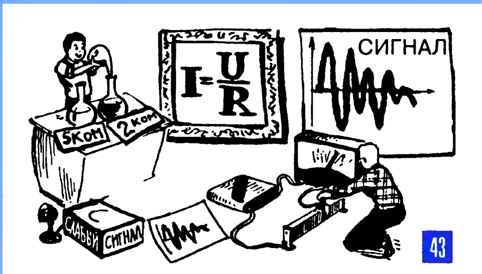
частот первого и второго сигнала (205 = 100 + 105), у второй — их разности (5 = 105 - 100).

Появление странных составляющих (их для краткости называют суммарной и разностной) связано с самой природой нелинейных искажений. Правда, слово «искажения» здесь можно применять не всегда, часто правильнее говорить о нелинейных преобразованиях. Потому что получение составляющих с суммарной и особенно с разностной частотой — один из важных процессов обработки сигнала в электронной аппаратуре (Т-219, Т-258).

В заключение — эксперимент. Ударьте слегка по одной клавише рояля, затем по второй и, наконец, по обеим вместе. Вы обнаружите, что при одновременном ударе по двум клавишам слышны такие тона, которых не давала в отдельности ни одна из них. Это в нашем ухе за счет нелинейных процессов возникают колебания суммарной и разностной частоты.

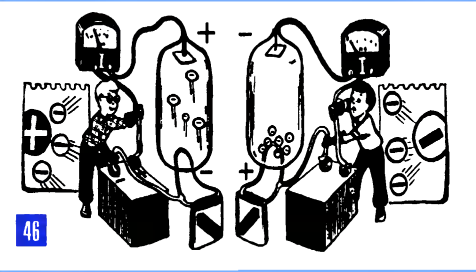
Этот музыкальный эксперимент завершает наше знакомство с генераторами и перебрасывает мост в следующий раздел повествования, посвященный в основном высококачественному воспроизведению музыки.

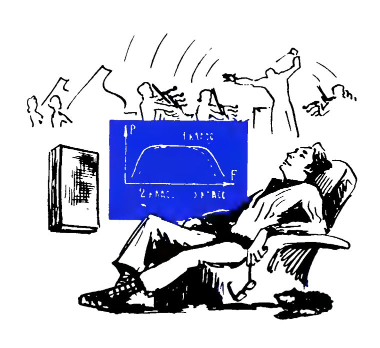












ГЛАВА 12

ВОСПРОИЗВОДИТСЯ МУЗЫКА

Т-183. Электроника помогла сделать доступными для миллионов людей бесценные сокровища музыки. Нет числа тем благам, которые принесла человеку радиоэлектроника. Она открыла нам новые возможности понимания мира, покорения природы. Цветное телевидение, автоматы, фотографирующие ландшафт Венеры, компьютеры, ускорители атомных частиц, электронные диспетчеры гигантских заводов, радиотелефонная связь Арктики с Антарктидой, Земли с Луной, регистрация электрических сигналов сердца и мозга... Т-183

Есть в этом гигантском списке скромная строка, за которой стоит, быть может, больше человеческой радости, чем за любой другой,— электроника сделала для нас более доступным продукт особого рода — музыку. Стремление к музыке, ощущение гармонии и ритмов заложено в самой человеческой природе. С ними так или иначе связаны многие прекрасные человеческие качества, связано непонятное пока Нечто, которое делает человека Человеком.

Убежденно и страстно сказал об этом великий Шекспир:

Тот, у кого нет музыки в душе,
Кого не тронут сладкие созвучья,
Способен на грабеж, измену, хитрость,
Темны, как ночь, души его движенья
И чувства все угрюмы, как Эреб...
Не верь такому.

Музыка — величайшее духовное богатство цивилизации. И справедливому распределению этого богатства, приобщению многих миллионов людей к сокровищам музыки помогает электроника. Это она приносит в наш дом тревожные бетховенские аккорды, сложную гармонию голосов «Ореро» или «Песняров», неповторимость хриплого армстронговского баса, прозрачные мелодии Моцарта, глубокие раздумья Сергея Прокофьева. Электроника приносит в ваш дом Музыку. Если, конечно, звуковоспроизводящие аппараты — приемники, радиолы и магнитолы, электрофоны и магнитофоны, усилители и акустические агрегаты — воспроизводят музыку так, что она остается музыкой.

Т-184. Важнейшие характеристики усилителя НЧ — номинальная мощность, коэффициент нелинейных искажений, диапазон частот, входное и выходное сопротивление, уровень шумов, потребляемая мощность. Ламповые и транзисторные усилители, которые работают в звуковоспроизводящих установках, называют усилителями низкой (звуковой) частоты или, сокращенно, усилителями НЧ. Частоты электрических сигналов, которые должен усиливать Т-184

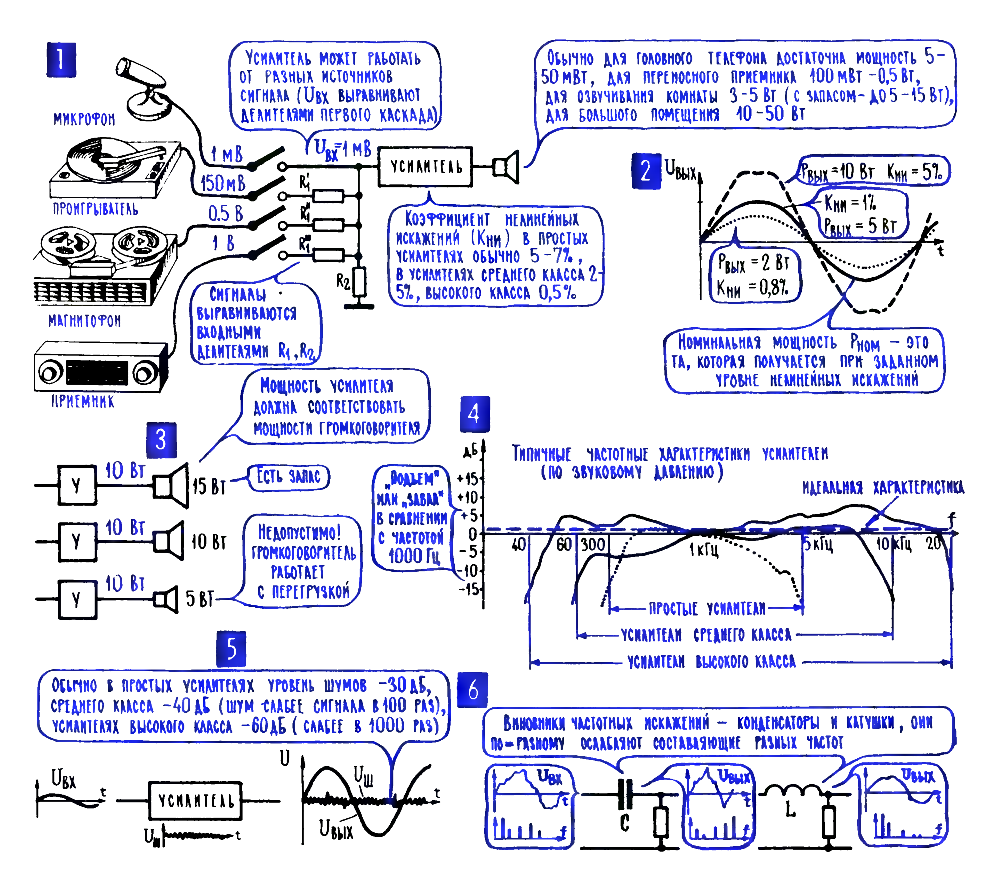
такой усилитель, это частоты звуков, скажем, от 15—20 *Гц* до 15—20 *кГц*. В сравнении с тем, что достается другим усилителям, это действительно низкие частоты, в приемнике или в телевизоре, например, транзисторам и лампам нередко приходится усиливать сигналы, частота которых измеряется мегагерцами, десятками и сотнями мегагерц.

Усилитель НЧ — важнейший элемент звуковоспроизводящего комплекса (Р-104; 1), от него в огромной степени зависят и громкость звука, и качество звучания. Что касается громкости, то здесь, пожалуй, усилитель даже главное действующее лицо. Потому что именно с него электрический сигнал поступает на громкоговоритель и от мощности этого сигнала зависит, насколько громким будет звук. Если, конечно, все дело не испортит сам громкоговоритель, если он сможет превратить в неискаженный звук столько электрических ватт, сколько ему даст усилитель. Что же касается искажений сигнала, то здесь усилитель НЧ входит в звуковоспроизводящий комплекс на равных со всеми другими его элементами. Потому что искажения, грубо говоря, суммируются и каждый из участков тракта «звук — ток — звук» вносит свою лепту в суммарные искажения звука, в то, что мы в конце концов слышим. Именно поэтому всеми силами стараются уменьшить искажения на всех участках звуковоспроизводящего тракта — в микрофонах, устройствах звукозаписи, в громкоговорителях. И конечно же, в усилителях НЧ (Р-73; 6, 7).

Одна из самых важных характеристик усилителя — его номинальная мощность $P_{ном}$ (Р-104; 2). Это та наибольшая мощность электрического сигнала на выходе усилителя (то есть на входе громкоговорителя), при которой нелинейные искажения в самом усилителе еще не превышают объявленной для него величины. Отсюда следует, что вторая важная характеристика усилителя — это коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$, который соответствует номинальной мощности $P_{ном}$. В принципе усилитель может развить и бо́льшую мощность, чем $P_{ном}$, но при этом коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$ будет больше, чем указано (Р-104; 2). И наоборот, коэффициент нелинейных искажений может оказаться меньше объявленной величины, но уже при мощности меньшей, чем $R_{ном}$.

Вопрос о том, какую мощность должен давать усилитель, не так-то прост, по этому поводу можно услышать самые разные мнения, по-разному обоснованные. Но опыт подсказывает такие, например, цифры. Карманный приемник мы слышим на небольшом расстоянии (а если вокруг тихо, то и на большом) при мощности усилителя около 100 *мВт*, а приемники класса «Спидолы», у которых выходная мощность около 0,5 *Вт*, звучат уже вполне громко. Для сравнительно небольшого помещения обычно хватает мощности 1—3 *Вт*. Столько же должны давать звуковоспроизводящие установки в автомобиле, чтобы перекрыть шум двигателя и дороги. Для домашних условий вполне хватит мощности 5—8 *Вт*, а если усилитель дает 10—15 *Вт*, то можно считать, что есть уже запас выходной мощности. Для большого помещения, такого, как школьный зал, нужны мощности побольше, скажем 20 *Вт* и даже 50 *Вт*. Одно можно сказать уверенно — усилитель не должен давать громкоговорителю больше, чем тот способен без искажений превратить в звук (Р-104; 3). То есть номинальная мощность усилителя и громкоговорителя должна быть одинаковой. Лучше даже, чтобы у громкоговорителя или акустического агрегата был некоторый запас, чтобы его номинальная мощность была несколько больше, чем мощность усилителя.

Коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$ усилителя определяется точно так же, как $K_{ни}$ громкоговорителя (Т-118),— это соотношение мощности но-



вых составляющих, в частности гармоник, и мощности основного сигнала. Разница лишь в том, что для громкоговорителя $K_{ни}$ определяется по новым составляющим звукового сигнала, а для усилителя — по новым составляющим электрического сигнала. Они, в частности, появляются, если сигнал выходит за пределы линейного участка вольт-амперной характеристики какого-либо транзистора.

Снизить нелинейные искажения в усилителе не всегда просто, за это приходится платить схемными сложностями и ограничениями. В усилителях среднего класса $K_{ни}$ снижают до 2—5 процентов, в высококачественных усилителях — до 1—2 и даже до десятых долей процента. На первый взгляд это может показаться излишеством: наше ухо замечает нелинейные искажения при $K_{ни}$ более 5—7 процентов. Но ведь нужно учитывать, что к искажениям в усилителе обязательно добавится еще и несколько процентов искажений в громкоговорителе, а кроме того, микрофон, магнитофон или устройство грамзаписи тоже «не дремлют», они, к сожалению, тоже кое-что вносят в суммарные нелинейные искажения звуковоспроизводящего тракта (Р-73).

Усилитель может вносить также и частотные искажения, не в одинаковой мере усиливать сигналы разных частот (Р-104; 4). Даже не вдаваясь в подробности, можно увидеть виновников частотных искажений в усилителях НЧ — это реактивные элементы, главным образом конденсаторы, которые оказывают разное сопротивление переменным токам разных частот. Здесь, наверное, уместно напомнить, что вся электротехника переменного тока, с

которой нас познакомила глава шестая, действительна только для синусоидальных токов и напряжений. В частности, только для них по простым формулам подсчитываются индуктивное и емкостное сопротивления x_L и x_C. Реальный же звуковой сигнал — это сигнал сложной формы, его приходится представлять целой суммой синусоидальных составляющих, спектром (Т-100). И если какой-либо конденсатор в усилителе НЧ, как ему и следует, пропускает высокочастотные синусоидальные составляющие сложного сигнала лучше, чем низкочастотные, то этот конденсатор нарушает пропорцию между составляющими спектра, искажает форму сигнала. Так же как и громкоговоритель с плохой частотной характеристикой (Р-104; 6).

О том, как ведет себя усилитель НЧ на разных частотах, говорит его частотная характеристика — зависимость напряжения на выходе усилителя от частоты, при условии, что на всех частотах на вход усилителя подается одинаковое напряжение. Если усилитель не вносит частотных искажений, то его частотная характеристика — прямая линия. Для тех частот, которые усиливаются лучше, частотная характеристика несколько приподнята; для тех, что хуже,— опущена, завалена. Подъем либо завал частотной характеристики принято указывать в децибелах, от которых, если нужно, легко перейти к вольтам, амперам или ваттам (С-9). Рабочий частотный диапазон усилителя определяют наибольшая $F_{\text{макс}}$ и наименьшая $F_{\text{мин}}$ частоты, для которых усиление отличается от усиления на средней частоте 1000 *Гц* на заданную величину, обычно на 3 *дБ*. При этом выходное напряжение на граничных частотах отличается от среднего примерно на 30 процентов, а выходная мощность — в два раза.

Создать усилитель с равномерной частотной характеристикой, особенно в области самых низших частот, не так-то просто. Поэтому в простых и недорогих усилителях мирятся с диапазоном воспроизводимых частот примерно от 150 *Гц* до 6—8 *кГц*, в усилителях среднего класса — от 60—80 *Гц* до 10—12 *кГц*, в усилителях высшего класса — от 20—40 *Гц* до 16—20 *кГц*. Однако же расширение диапазона воспроизводимых частот в усилителе имеет смысл только в том случае, если весь этот диапазон может воспроизвести громкоговоритель и если сам воспроизводимый сигнал имеет широкий диапазон составляющих. Так, например, для воспроизведения речи вполне хватило бы диапазона от 100 до 5000 *Гц*. На старых пластинках тоже больше 5—6 *кГц* и меньше 80—100 *Гц* не записывали. А вот звуки оркестра при передаче с частотной модуляцией на УКВ (Т-226) могут иметь весь спектр звуковых частот.

Весьма важная характеристика усилителя — уровень его собственных шумов (Р-104; 5). Часто к шумам относят всю «грязь», все виды непрошеных сигналов, которые тем или иным путем попадают на вход усилителя и шумят, гудят, шипят, ноют (особенно когда не слышно сигнала), хотя и не очень громко, но очень однообразно и противно. Основные причины этого вида помех — собственные шумы первого транзистора, которые затем усиливаются (шумят все транзисторы, но наиболее опасен первый, его шумовое напряжение усиливается всеми последующими каскадами), а также наводки сетевого напряжения, слабые сигналы с частотой 50 *Гц*. Как в приемных антеннах (Т-203), они наводятся во входных цепях усилителя, например электромагнитными полями проводки. Чтобы оценить уровень шумов (фона), его сравнивают с номинальной мощностью усилителя и результат указывают в децибелах. Так, например, если напряжение шумов на выходе в сто раз меньше, чем напряжение самого сигнала при номинальной мощности $P_{\text{ном}}$, то говорят, что уровень шумов минус 40 *дБ*. В усилителях высшего класса удается

снизить уровень шумов до минус 60 *дБ* или в крайнем случае до минус 50 *дБ,* хотя борьба с шумами и наводками дело не всегда простое и легкое.

Максимальная мощность усилителя и уровень шумов вместе определяют еще одну характеристику звуковоспроизводящей установки — ее динамический диапазон: отношение самого громкого звука к самому тихому. Музыка, звучащая в концертном зале, может иметь динамический диапазон 60—70 *дБ* — от едва слышного пиано-пианиссимо до громыхающего форте-фортиссимо большого симфонического оркестра. Динамический диапазон голоса примерно 30—35 *дБ* — от шепота до крика. При радиопередаче и записи звука на пластинку динамический диапазон искусственно сжимают, обычно до 35—40 *дБ*.

Характеристика усилителя «потребляемая мощность» — это произведение напряжения питающей батареи на ток, который от нее потребляется. Конечно, желательно, чтобы потребляемая мощность была как можно меньше, особенно в аппаратуре, которая питается от батарей.

Необходимость таких характеристик, как входное сопротивление усилителя и его выходное сопротивление, связана с тем, что усилитель следует согласовать с источником сигнала и с нагрузкой, так же как нужно согласовывать между собой отдельные усилительные каскады в многокаскадном усилителе.

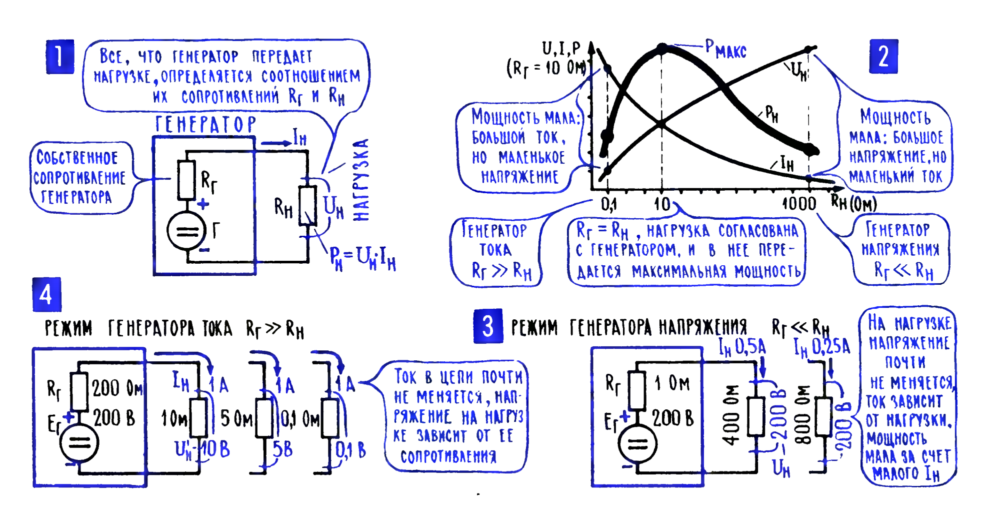
Т-185

Т-185. В усилителе НЧ, как правило, несколько каскадов — каскады предварительного усиления и выходной каскад, усилитель мощности. Усилительные способности транзистора ограничены, он обычно может повысить мощность сигнала в десять, в сто, в лучшем случае в тысячу раз. А бывает, что нужно увеличить ее в сотни тысяч, миллионы и даже миллиарды раз. Вот почему электронные усилители, как правило, оказываются многокаскадными. Если один каскад усиливает мощность сигнала в сто раз, передает сигнал на второй каскад и тот усиливает мощность еще в сто раз, затем такое же усиление дает третий каскад, то в итоге получается, что сигнал усилился в миллион раз ($100 \cdot 100 \cdot 100 = 1\,000\,000$). Последний каскад усилителя НЧ, тот, что работает прямо на громкоговоритель, называют оконечным, выходным каскадом или усилителем мощности. А все остальные — это каскады предварительного усиления, первый (входной), второй, третий, иногда еще четвертый, пятый и даже шестой — все зависит от того, сколько милливатт или микроватт дает источник сигнала, какую мощность потребует входная цепь последнего каскада и какое усиление дает каждый предварительный каскад.

Т-186

Т-186. Только от соотношения сопротивлений генератора и нагрузки зависит эффективность передачи тока, напряжения, мощности. Прежде чем говорить о межкаскадных связях в усилителях, о связи выходного каскада с громкоговорителем и входного каскада с источником сигнала, вернемся к самой простой электрической цепи, в которую входит один генератор постоянного тока с внутренним сопротивлением $R_г$ и одна нагрузка с сопротивлением $R_н$ (Т-24. Р-25. Р-105; 1). Ток $I_н$ в этой цепи, напряжение $U_н$ на нагрузке и мощности $P_н$, которую она получит от генератора, зависят не только от его электродвижущей силы $E_г$, но еще и от соотношения между $R_г$ и $R_н$. Типичный график Р-105; 2 показывает, как меняются $I_н$, $U_н$ и $P_н$ при изменении нагрузки $R_н$. Все эти изменения легко объяснимы.

С увеличением $R_н$ ток в цепи уменьшается, потому что растет общее сопротивление цепи $R_{общ} = R_г + R_н$. С увеличением $R_н$ напряжение $U_н$ растет, потому что $R_г$ и $R_н$ образуют делитель напряжения, делят между собой э.д.с. генератора. И чем больше сопротивление участка $R_н$ этого делителя, тем большая часть э.д.с. ему достается. Ну а мощность $P_н$ — это произведе-



ние тока на напряжение. Сначала с увеличением $R_н$ мощность возрастает, потому что ток уменьшается в меньшей степени, чем растет напряжение $U_н$. А затем, после некоторой оптимальной (самой выгодной) величины $R_{н\ опт}$, мощность начинает падать, потому что ток $I_н$ уменьшается быстрее, чем увеличивается напряжение $U_н$.

Объяснимо также и то, что при разных соотношениях $R_н$ и $R_г$ сопротивление нагрузки $R_н$ по-разному влияет на ток и на напряжение $U_н$. Когда $R_н$ мало по сравнению с $R_г$, то удельный вес нагрузки в общем сопротивлении цепи невелик и увеличение $R_н$ — не очень-то сильно влияет на ток $I_н$. А при большом $R_н$ — в основном оно определяет общее сопротивление, а следовательно, и ток в цепи.

Теперь о напряжении $U_н$. Увеличивая $R_н$, мы сразу по двум каналам влияем на это напряжение. Во-первых, $U_н$ возрастает за счет увеличения $R_н$, так как $U_н = I_н \cdot R_н$. Во-вторых, $U_н$ уменьшается за счет уменьшения $I_н$ и опять-таки потому, что $U_н = I_н \cdot R_н$. При малых $R_н$ ток, как было отмечено несколькими строчками выше, меняется мало и поэтому напряжение $U_н$ довольно резко растет. А вот при больших $R_н$, из-за его сильного влияния на ток, напряжение уже увеличивается незначительно.

Все это арифметика очень простая. И убедительная. Точно так же можно пояснить, почему в пустом ведре каждая капля на виду, а в полном и лишний стакан не очень-то заметен. Или почему один свободный день в конце каникул имеет совсем иную ценность, чем в начале.

Т-187. «Генератор тока» и «генератор напряжения» — два разных режима передачи энергии от генератора к нагрузке. Из всех возможных соотношений между сопротивлением генератора и нагрузки можно выделить два типичных случая.

Случай первый: сопротивление генератора $R_г$ во много раз меньше, чем сопротивление нагрузки $R_н$. Такой генератор называют генератором напряжения, отмечая этим, что почти вся э.д.с. приложена к нагрузке и что при изменении нагрузки напряжение на ней почти не меняется (Р-105; 3). Для иллюстрации — числовой пример.

Предположим, что $E = 200\ В$, $R_г = 1\ Ом$ и $R_н = 200\ Ом$. На внутреннем сопротивлении генератора остается около 1 *В*, нагрузке достается примерно 199 *В*. Увеличим $R_н$ до 400 *Ом*, на нагрузке, несмотря на это, останется примерно такое же напряжение, какое было,— около 199,5 *Ом;* на внутреннем

сопротивлении генератора остается около 0,5 *В*. Если уменьшить $R_н$ до 100 *Ом*, то на нем все равно будет около 198 *В*, на $R_г$ потеряется около 2 *В*.

Во втором типичном случае сопротивление генератора $R_г$ во много раз больше, чем сопротивление нагрузки $R_н$. Это режим генератора тока, он назван так потому, что ток в цепи почти не меняется при изменении нагрузки (Р-105;4).

Числовой пример: э.д.с. генератора $E = 200$ *В*, $R_г = 200$ *Ом*, $R_н = 1$ *Ом*; легко подсчитать, что ток в цепи — около 1 *А* и что он примерно таким и останется, если увеличить или уменьшить $R_н$ в несколько раз.

Оба эти режима имеют свои достоинства и недостатки, оба находят применение, однако генератор напряжения встречается несравнимо чаще. В режиме генератора напряжения работает электрическая сеть (внутреннее сопротивление измеряется десятыми и сотыми долями ома), автомобильный аккумулятор (внутреннее сопротивление — тысячные доли ома), батарейка карманного фонаря (внутреннее сопротивление — около ома, у старой батарейки — несколько ом).

Т-188. Режим оптимального согласования: сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению генератора, в нагрузку передается максимальная мощность. В усилителях НЧ, особенно в выходных каскадах, работающих на громкоговоритель, иногда используется режим оптимального (наилучшего) согласования, оптимальной нагрузки. Его главная примета — сопротивление нагрузки $R_н$ равно сопротивлению генератора $R_г$. В этом случае генератор отдает в нагрузку наибольшую мощность, какую вообще может ей отдать (Р-105; 2). Но чаще согласование осуществляют, исходя из допустимых параметров токов и напряжений.

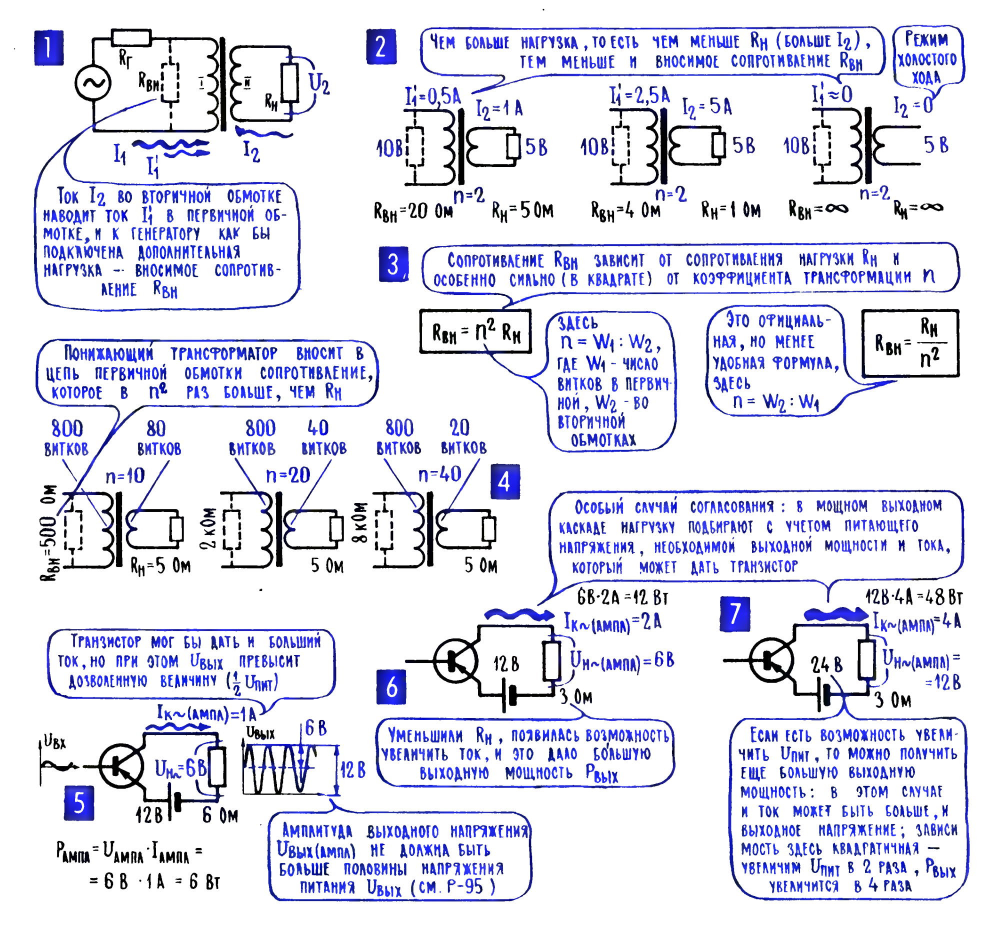
Проблема согласования генератора с нагрузкой, источника энергии с ее потребителем, имеет весьма общий, если хотите — даже философский, смысл. Это можно подтвердить примерами из самых разных областей. Можно, например, вспомнить, что мощность, которую развивает автомобильный двигатель, используется тем лучше, чем больший груз везет машина. Но перегружать автомобиль бессмысленно, генератор должен работать на свою оптимальную нагрузку. Можно вспомнить и о том, что польза, которую приносит человек-работник, зависит не только от его сил, способностей и энергии, но еще и от работы. Слишком легкое дело и делать неинтересно, и проявить себя на нем не всегда удается. Но вряд ли можно принести пользу, взвалив на себя работу не по плечу, взявшись за дело, в котором ничего не понимаешь и делать его не умеешь. Человек должен работать на свою оптимальную нагрузку, должен быть наилучшим образом согласован со своей работой.

Легко произнести слова «Добьемся согласования!», но не всегда легко его добиться. В частности, серьезные трудности появляются в усилителях, где на каждом шагу приходится состыковывать низкоомную (обладающую малым сопротивлением) нагрузку с высокоомным генератором. Или, наоборот, низкоомный генератор с высокоомной нагрузкой. Так, например, громкоговоритель (нагрузка) с сопротивлением звуковой катушки в несколько ом нужно согласовать с транзистором (генератор), выходное сопротивление которого измеряется килоомами или десятками килоом. Звукосниматель электропроигрывателя (генератор) с выходным сопротивлением около мегома нужно согласовать с базовой цепью первого усилительного каскада, входное сопротивление которого измеряется килоомами. Те же несколько килоом имеет входное сопротивление каждого последующего каскада (нагрузка), и его нужно согласовать с коллекторной цепью предыдущего каскада (генератор), которое, как отмечалось, составляет десятки или сотни килоом.

Пытаясь побыстрее добраться до места назначения, шофер иногда, скажем на ровном пустом шоссе, просто увеличивает скорость. А иногда, например, на забитых машинами улицах города, наоборот, едет помедленней, поаккуратней, главным образом старается не попасть в затор. Вот так и для достижения одной и той же цели — получения наибольшей выходной мощности транзисторного усилителя — иногда обращают внимание на одни особенности режима, иногда — на другие. На жаргоне ученых и инженеров об этом говорят, например, так: «Подумайте о мощности в терминах согласования сопротивлений». Или так: «Подумайте о мощности в терминах использования транзисторов по току».

Кстати, эти два примера, два жаргонных выражения, относятся к двум типичным стратегиям согласования транзисторов с громкоговорителем.

Начнем со второго случая. Предположим, что в выходном каскаде работают мощные транзисторы, коллекторный ток в них может достигать 2 *А*, и, значит, амплитуда его переменной составляющей — 1 *А* (здесь и дальше все цифры условные). А на коллектор (в отсутствие сигнала) попадает напряжение 10 *В*, и, значит, амплитуда переменной составляющей напряжения на нагрузке не может быть больше 10 *В*, иначе в какие-то моменты напряжения на коллекторе вообще не будет. И еще одно предположение: сопротивление нагрузки равно 20 *Ом*. Закон Ома напоминает: $U = I \cdot R$; $I = U : R$; чтобы



на сопротивлении 20 *Ом* напряжение было 10 *В*, нужен ток 0,5 *А*. Что отсюда следует? А то, что мы не сможем полностью использовать транзистор по току: на вход его придется подать сигнал послабее, чтобы переменная составляющая коллекторного тока не превышала 0,5 *А* (0,5 *А* · 20 *Ом* = 10 *В*), в то время как она могла бы быть 1 *А*. И в итоге транзистор отдаст в четыре раза меньшую мощность ($P = I^2 \cdot R$), чем мог бы.

Есть ли из этого какой-нибудь выход? Есть, и даже два. Во-первых, можно (если можно!) в два раза поднять питающее напряжение (до 20 *В*), при этом «потолок» переменного напряжения на нагрузке тоже возрастет вдвое и можно будет спокойно увеличить ток. А вот другой выход: можно в два раза уменьшить сопротивление нагрузки, то есть до 10 *Ом*, «потолок» переменного напряжения на ней получится при вдвое большем токе, то есть при нашем предельном токе 1 *А* (1 *А* · 10 *Ом* = 10 *В*).

Этим вторым методом пользуются весьма часто: обычно в выходном каскаде стоят транзисторы с запасом мощности, и от них получают нужное число ватт, подбирая сопротивление нагрузки, например группируя тем или иным способом громкоговорители (Р-75). К таким же выводам мы пришли бы, если бы рассматривали все это в «терминах согласования сопротивлений», просто оценка напряжений и токов в транзисторе оказалась в данном случае проще и удобней.

В некоторых случаях, чтобы не усложнять схему, приходится мириться с плохим согласованием. Из-за этого, например при передаче сигнала из каскада в каскад, нередко теряется часть той мощной копии, которую создал усилитель. В других же случаях, когда с потерями не хотят или не могут мириться, разными схемными ухищрениями меняют входные и выходные сопротивления усилительных каскадов. Или пользуются таким эффективным средством согласования, как трансформатор.

Т-189. При трансформаторном включении нагрузки в цепи генератора действует вносимое сопротивление, которое может быть больше или меньше, чем сопротивление самой нагрузки. Вспомните, как работает трансформатор (Т-87): переменное напряжение U_1, подведенное к первичной обмотке I, создает в ней переменный ток I_1; он наводит переменное напряжение U_2 и создает ток I_2 во вторичной обмотке II (Р-106). Но на этом дело еще не кончается: ток I_2 сам создает переменное магнитное поле и наводит ток I'_1 в первичной обмотке. Если, вернувшись к старому нашему методу мысленных экспериментов, снять с трансформатора вторичную обмотку, а первичную подключить к генератору, то ток в этой одинокой первичной обмотке будет сравнительно небольшим, он определится лишь в основном индуктивным сопротивлением x_L. А если вернуть на место вторичную обмотку и подключить к ней нагрузку, ток в первичной обмотке резко увеличится. Это как раз и начнет работать ток I_2 — он начнет наводить ток I'_1 в первичной обмотке. Тот факт, что к первичной обмотке трансформатора подведено напряжение U_1 и в ней течет ток I'_1, означает, что в этой обмотке имеется какое-то сопротивление, устанавливающее связь между током и напряжением ($R = U : I$; Т-33). А поскольку сам ток I'_1 как бы вносится в первичную обмотку из вторичной обмотки, то и сопротивление $R = U_1 : I'_1$ называют вносимым сопротивлением $R_{вн}$.

От чего же оно зависит, это вносимое сопротивление $R_{вн}$, которого вроде как бы нет, но которое все-таки существует как некий коэффициент, отображающий связь между током и напряжением?

Попробуем увеличить нагрузку, предварительно пояснив, что́ именно нужно понимать под этими словами. Выражение «нагрузка увеличилась»

имеет смысл — «больше нагружен генератор», или, точнее, «больше ток, потребляемый от генератора». А значит, выражение «нагрузка увеличилась» означает «меньше стало сопротивление $R_н$».

Итак, мы уменьшаем $R_н$, увеличиваем тем самым ток I_2 во вторичной обмотке. И тут же увеличится наведенный в первичную обмотку ток I_1'. А это значит, что сопротивление $R_{вн}$ зависит от сопротивления нагрузки $R_н$ (Р-106; 2, 3) — чем больше $R_н$, тем больше и вносимое сопротивление $R_{вн}$. В предельном случае, когда $R_н$ бесконечно велико (цепь вторичной обмотки не замкнута, холостой ход), $R_{вн}$ тоже бесконечно велико, то есть, проще говоря, его нет.

Но величина вносимого сопротивления зависит не только от $R_н$, она еще зависит от коэффициента трансформации n, от соотношения числа витков в первичной и вторичной обмотке (Р-106; 4, 5, 6). Причем зависит очень сильно — коэффициент трансформации дважды влияет на величину $R_{вн}$. Первый раз, когда из первичной обмотки во вторичную наводится ток I_2, и второй раз, когда обратно из вторичной обмотки в первичную наводится ток I_1'. Поэтому $R_{вн}$ зависит от квадрата коэффициента трансформации n: увеличьте его в два раза, и вносимое сопротивление возрастет в четыре, увеличьте n в 5 раз и $R_{вн}$ возрастет в 25 раз (Р-106; 4).

И еще: повышающий напряжение трансформатор как бы понижает сопротивление нагрузки при пересчете его в первичную цепь, а понижающий трансформатор, наоборот, увеличивает $R_{вн}$ по сравнению с $R_н$. Это настолько важный вывод, что изложим его еще раз несколько иными словами: если на пути от генератора к нагрузке напряжение понижается, то есть если нагрузка включена через понижающий трансформатор, то $R_{вн}$ будет больше, чем $R_н$. А если трансформатор повышающий, то $R_{вн}$ меньше, чем $R_н$. И наконец, если коэффициент трансформации равен единице, то $R_{вн}$ будет таким же, как и $R_н$.

Как видите, трансформатор открывает большие возможности для согласования генератора с нагрузкой — достаточно подобрать коэффициент трансформации, и в цепь генератора фактически будет включено такое вносимое сопротивление, какое требуется, например, для оптимального согласования.

А теперь настал момент рассказать о том, как добиваются согласования, не приспосабливая то, что есть, к тому, что есть, а активно изменяя неизменяемые, казалось бы, характеристики — входное и выходное сопротивление транзистора.

Т-190

Т-190. У схем с общим эмиттером (ОЭ), с общей базой (ОБ) и общим коллектором (ОК) сильно различаются входные и выходные сопротивления и основные усилительные характеристики. Рассказ этот можно было бы озаглавить «2 + 2 = 3». Такое странное равенство должно привлечь внимание к задаче, которую приходится решать при включении транзистора или лампы в усилительный каскад. Дело в том, что у транзистора всего три вывода — эмиттер, база, коллектор (у лампы, соответственно, катод, сетка, анод), а подключить к нему нужно четыре провода — два от источника сигнала, например от микрофона, и два от нагрузки, например от громкоговорителя (Р-107; 1).

Подключить четыре провода к трем (2 + 2 = 3) можно только так: один из выводов транзистора должен быть общим и для входной цепи, и для выходной, то есть и для источника сигнала, и для нагрузки. В принципе общим может быть любой из выводов, а значит, возможны три разные схемы — с общим эмиттером (ОЭ), с общей базой (ОБ) и с общим коллектором (ОК). В ламповых усилителях это, соответственно, схемы с общим катодом, общей сеткой и общим анодом. На Р-107; 1, 2, 3, 4 вы видите схемы ОЭ, ОБ и ОК в предельно упрощенном виде.

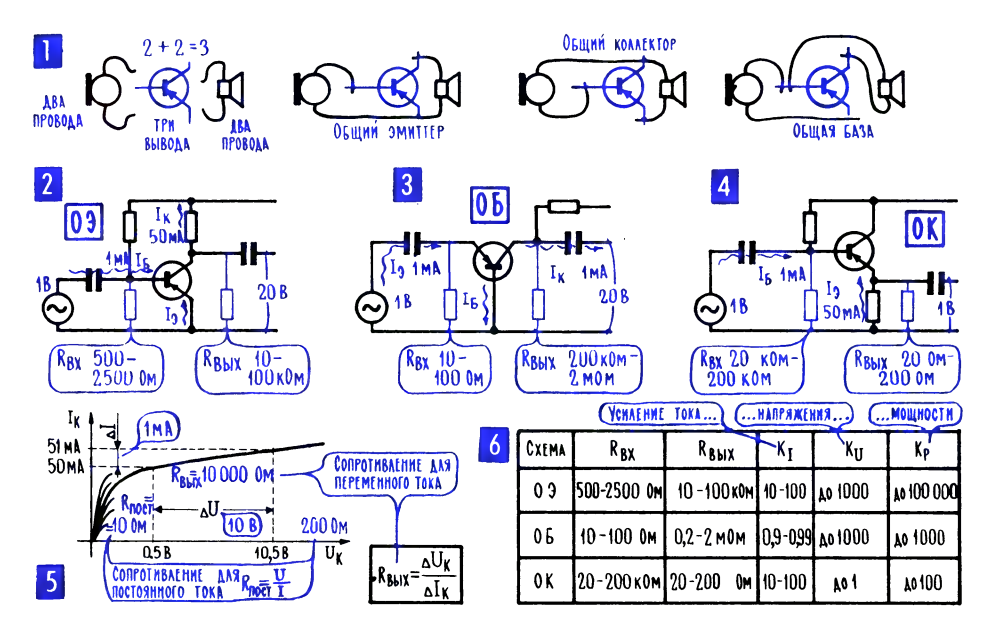


Схема	$R_{вх}$	$R_{вых}$	K_I	K_U	K_P
ОЭ	500-2500 Ом	10-100 кОм	10-100	до 1000	до 100 000
ОБ	10-100 Ом	0,2-2 мОм	0,9-0,99	до 1000	до 1000
ОК	20-200 кОм	20-200 Ом	10-100	до 1	до 100

Из всех трех схем нам знакома одна — схема ОЭ (Р-93). Известно, что она усиливает ток в *В* раз, а также усиливает напряжение, так как напряжение на нагрузке может быть больше, чем напряжение на входе транзистора, на участке эмиттер — база. Для маломощных транзисторов усиление мощности в схеме ОЭ составляет несколько тысяч. Схема ОЭ усиливает мощность во много раз больше, чем две другие, и это одна из причин ее популярности.

Теперь о входном сопротивлении $R_{вх}$ и выходном $R_{вых}$. И входная цепь транзистора, и особенно выходная оказывают разное сопротивление постоянному и переменному току. Лучше всего это видно на примере коллекторной цепи открытого транзистора (Р-107; 5). В реальном случае при напряжении на коллекторе 0,5 *В* через транзистор идет постоянный ток до 50 *мА*, для постоянного тока сопротивление коллекторной цепи 10 *Ом*. Но если мы попробуем менять напряжение и следить за изменением тока, то получим иную цифру — коллекторный ток очень мало меняется при изменении напряжения на коллекторе. Если напряжение $U_к$ увеличить от 0,5 *В* до 10,5 *В*, то есть на 10 *В*, ток увеличится всего на 1 *мА*. Так менялся бы ток, если бы в цепи было включено сопротивление 10 *кОм*, и именно такое сопротивление оказывает транзистор меняющемуся коллекторному току, его переменной составляющей. А поскольку продукция транзистора, которую он должен передать дальше, не постоянный ток, а переменный, то можно считать, что эта последняя величина и есть выходное сопротивление транзистора $R_{вых}$. Именно его нужно согласовывать с последующим каскадом.

Аналогично определяют и входное сопротивление транзистора по изменению входного (базового) тока и входного напряжения. В схеме ОЭ входное сопротивление составляет примерно 500—2500 *Ом*. Оно, кстати, тем больше, чем выше коэффициент усиления по току у данного транзистора. Потому, что с увеличением *В* меньшая часть общего эмиттерного тока ответвляется в базу, а чем меньше ток при том же напряжении, тем, значит, больше сопротивление цепи.

Совсем иные цифры получаются в схемах ОБ и ОК.

В схеме ОБ (общая база) по входной цепи проходит уже не маленький

Р-108

...из-за различного расположения деталей на рисунке совершенно одинаковые схемы могут казаться разными

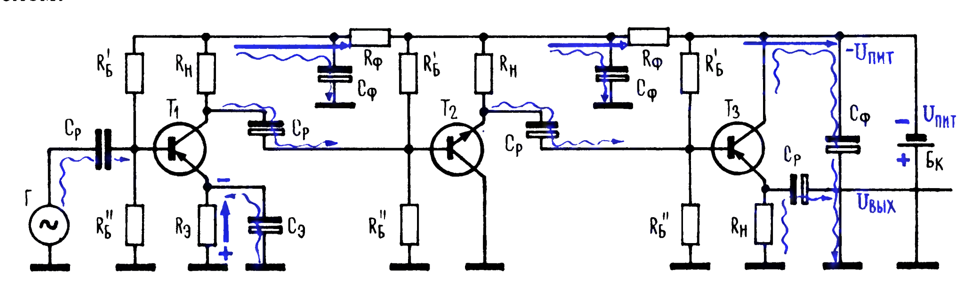
Все это одна и та же схема—...

базовый ток, а весь эмиттерный ток целиком. Из этого вытекают сразу два следствия, зачастую очень неприятных. Во-первых, коллекторный ток не может быть больше эмиттерного (Т-141), а значит, схема ОБ не дает усиления по току. Второе неприятное следствие касается входного сопротивления. Из-за того, что по входной цепи проходит большой эмиттерный ток, входное сопротивление транзистора оказывается очень маленьким ($R = U : I$, чем больше ток, тем, значит, меньше сопротивление). Оно практически в B раз меньше, чем в схеме ОЭ, и составляет несколько десятков *Ом*. А выходное сопротивление, наоборот, во много раз больше, чем в схеме ОЭ, оно достигает сотен килоом и даже нескольких мегом. Это связано с тем, что коллекторное напряжение $U_к$ в схеме ОБ почти совсем не влияет на коллекторный ток $I_к$. В схеме ОЭ малая часть коллекторного напряжения доставалась эмиттерному переходу и с этого командного пункта как-то влияла на ток $I_к$. В схеме ОБ цепь питания коллектора совершенно изолирована от эмиттерного перехода.

Схема ОК (общий коллектор) тоже отличается от схемы ОЭ, но, если можно так сказать, в другую сторону. Схема ОК так же, как и ОЭ, усиливает ток в B раз, но она совсем не усиливает напряжения. Потому, что нагрузка здесь включена в цепь эмиттера и коллекторный ток создает на ней напряжение $U_н$, которое действует против напряжения на базе (Т-162). И напряжение на нагрузке в принципе не может быть больше, чем напряжение сигнала: в этом случае транзистор просто оказался бы закрытым. Практически в схеме ОК выходное напряжение равно входному, и эту схему называют эмиттерным повторителем — она не усиливает напряжение сигнала, а лишь повторяет его. При этом эмиттерная нагрузка может быть очень небольшой, выходное сопротивление усилителя измеряется килоомами, сотнями ом и даже десятками ом. В то же время входное сопротивление очень большое — десятки, сотни килоом и даже мегомы. И все из-за того же мешающего действия напряжения на нагрузке: из-за него напряжение на базе очень слабо влияет на входной ток, а это равносильно тому, что входная цепь имеет очень большое сопротивление.

На Р-107; 6 — сводная таблица основных характеристик схем ОЭ, ОБ и ОК; из этой таблицы можно сделать некоторые выводы об особенностях этих схем.

Р-109



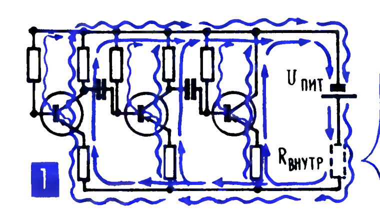
Так, например, видно, что схемы с общей базой и с общим коллектором дают сравнительно небольшое усиление по мощности. Первая — потому что не усиливает ток, вторая — потому что не усиливает напряжение. Они применяются в основном в тех случаях, когда нужны их повышенные или пониженные входные или выходные сопротивления. В частности, низкое выходное сопротивление схемы ОК позволяет согласовывать с ней громкоговоритель без всякого трансформатора, и эта схема находит применение в выходных каскадах высококачественных бестрансформаторных усилителей НЧ. Кроме того, она используется в тех входных каскадах, где нужно согласовать усилитель с большим выходным сопротивлением кристаллического звукоснимателя (К-1; 6).

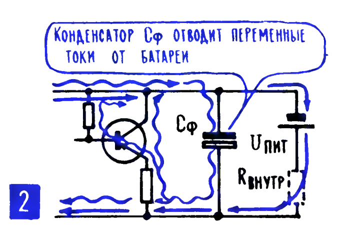
Т-191

Т-191. Участки схемы, заземленные по переменному току, не всегда заземлены по постоянному, и наоборот. Есть одна мелочь, которую обязательно нужно иметь в виду, рассматривая практические схемы,— одна и та же схема может быть просто начерчена по-разному: по-разному могут быть расположены детали, соединительные провода, точки их соединения или пересечения (Р-108). Из-за этого знакомая схема может показаться незнакомой, привычная — непонятной. Нужно уметь отвлечься от способа начертания схемы, увидеть главные ее особенности, определяющие прохождение токов, передачу напряжений, разделение переменных и постоянных составляющих.

Как только от упрощенных схем мы начнем переходить к реальным, практическим, то сразу же обнаружим, что участок, заземленный (соединенный

Р-110





с общим проводом; Т-156) для переменного тока, не всегда можно заземлить по постоянному. А бывает и наоборот: участок, который нужно заземлить по постоянному току, нельзя соединить с общим проводом для переменного тока. В схеме появляются цепи раздельного заземления различных ее участков. Это, по сути, фильтры, которые по одному пути пропускают постоянную составляющую коллекторного или базового тока, а по другому пути проводят их переменные составляющие. Очень часто именно эти фильтры вместе с фильтрами питания и фильтрами, которые подают усиливаемый сигнал ко входу и отводят усиленный сигнал с выхода, создают ощущение сложности и запутанности схемы, хотя никакой сложности нет. Нужно лишь спокойно проследить за прохождением токов и появлением напряжений на тех или иных участках схемы, и она предстанет простой и понятной.

Для иллюстрации на Р-109 приведена схема многокаскадного усилителя НЧ. В целом она не имеет практического смысла, это не более чем учебная схема. В ней собраны разные усилительные каскады и схемы межкаскадной связи, причем схемы каждого каскада и любой пары соседних каскадов вполне реальны, многие из них можно встретить в практических схемах усилителей К-1, К-7, К-13 и в других.

Первый каскад учебного усилителя Р-109 — это привычный уже усилитель по схеме ОЭ. По постоянному току его эмиттер «поднят», имеет некоторое напряжение относительно общего провода. По переменному току эмиттер

заземлен через $C_э$ и таким образом соединен с одним из проводов источника сигнала. В третьем каскаде по переменному току заземлен через $C_ф$ коллектор — каскад собран по схеме ОК. По постоянному току коллектор заземлить нельзя — на него подается «минус» питающего напряжения, а заземлен «плюс» батареи $Б_к$. Второй каскад тоже собран по схеме ОК, но здесь коллектор заземлен не через конденсатор, как в предыдущем каскаде, а непосредственно заземлен и по переменному, и по постоянному току. Потому что в этом каскаде работает транзистор обратной проводимости и на коллектор подается «плюс», заземленный в данной схеме питания. Кстати, заземлять «плюс» питания совсем не обязательно, можно заземлить и «минус», все зависит от того, каких транзисторов в схеме больше и по каким схемам они в основном включены.

Т-192

Т-192. Чтобы устранить паразитные связи между каскадами, в цепь питания включают фильтры и шунтируют батарею конденсатором. Внутреннее сопротивление источника питания невелико, у батарейки карманного фонаря, например, это доли ома, в худшем случае несколько ом. И казалось бы, можно считать, что для переменного тока «минус» батареи просто заземлен и что вместе с ним по переменному току заземлены все точки схемы, соединенные с этим «минусом». Однако же пренебречь собственным сопротивлением источника, считать «минус» заземленным по переменному току можно только в самых простых маломощных усилителях. Потому что внутреннее сопротивление источника есть элемент никому не нужных связей между каскадами и в многокаскадном усилителе такая паразитная связь сплошь и рядом приводит к самовозбуждению, к превращению усилителя в генератор.

Механизм появления паразитной связи по питанию очень прост. Переменная составляющая какого-либо коллекторного тока проходит по внутреннему сопротивлению источника и создает на нем переменное напряжение, которое неизбежно попадает на коллектор, а через резистор смещения и на базы других транзисторов (Р-110; 1). Способ борьбы с этой неприятностью тоже несложен — источник питания шунтируют конденсатором $C_ф$ (Р-110; 2), через который все переменные составляющие замыкаются беспрепятственно. Кроме того, в цепи включают развязывающие фильтры, задача которых — замкнуть переменную составляющую коллекторного тока на месте, вблизи транзистора, не пустить ее в общие цепи питания. Бывает, что через

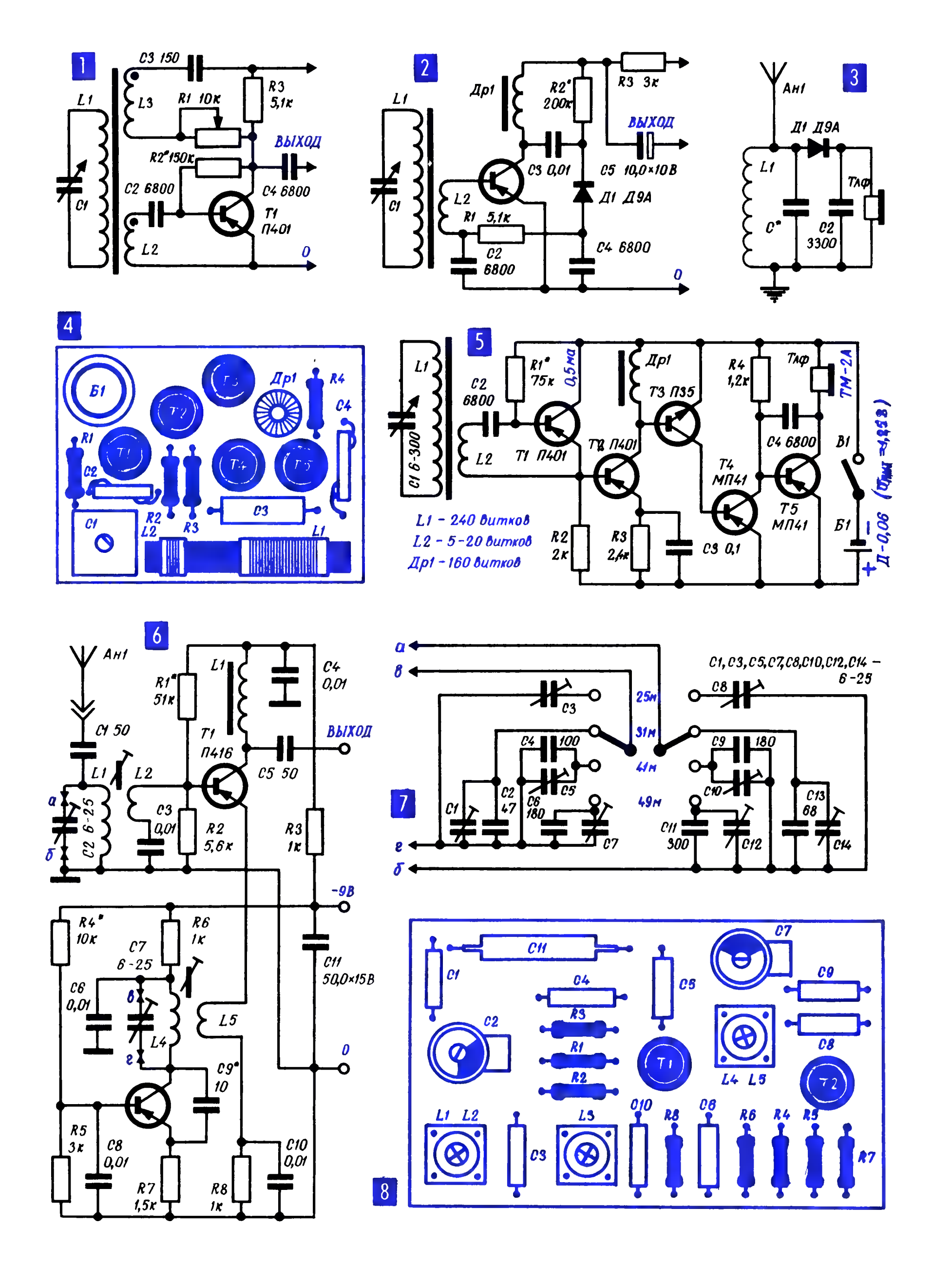
К-9

К-9. ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ

1. Усилитель ВЧ с обратной связью. Положительная обратная связь снижает потери в контуре, улучшает его добротность, повышает избирательность (Т-170). Сигнал обратной связи с коллекторной нагрузки R3 вводится в контур через катушку L3. Уровень обратной связи подбирается резистором R1 с таким расчетом, чтобы ни в коем случае не допустить самовозбуждения. Если обратная связь получается не положительной, а отрицательной, можно поменять местами концы одной из катушек или перевернуть ее на 180 градусов. Через C4 высокочастотный сигнал передается к следующему каскаду усилителя ВЧ или к детектору.

2. Рефлексный усилитель. Здесь один транзистор используется дважды — как усилитель ВЧ и как первый каскад усилителя НЧ. Высокочастотный сигнал в коллекторной цепи выделяется на дросселе Др1 (50—80 витков любого провода; намотан на ферритовом кольце с внешним диаметром 6—8 *мм*) и подается прямо на детектор Д1. Низкочастотная составляющая продетектированного сигнала подается на базу того же транзистора через R1, L2 — сопротивление этой катушки для низкой частоты практически равно нулю. А высокочастотной составляющей путь на базу преграждает фильтр R1, C2, C4, который тем самым предотвращает самовозбуждение усилителя. Резистор R3 — коллекторная нагрузка для усиленного низкочастотного сигнала, через C5 он подается к следующим каскадам усилителя НЧ.

3. Детекторный приемник. Рассчитан на прием одной местной станции, может работать на головной телефон или в качестве приставки («Эфирная радиоточка») к любому



усилителю НЧ, например К-1; 1 или К-7. Катушка L1 и контурный конденсатор C1 подбираются с учетом частоты принимаемой станции, ориентироваться можно на таблицу С-18. В качестве C1 удобно взять КПЕ, а чтобы улучшить избирательность, целесообразно подключить детектор Д1 не ко всей катушке, а к отводу от ее середины или даже от одной трети (Т-214).

4, 5. **Миниатюрный средневолновый приемник.** Сложность схемы (большое число транзисторов, их непосредственная связь) связана с тем, что напряжение питания составляет всего 1,2—1,5 *В* (один гальванический элемент или аккумулятор). Данные катушек указаны на схеме; L1, L2 (магнитная антенна) намотана на ферритовом стержне диаметром 6 *мм* и длиной 60 *мм*, а Др1 — на небольшом ферритовом кольце.

6, 7, 8. **Коротковолновый конвертор** (см. Т-226, Р-133, К-8).

один развязывающий фильтр питается один каскад, бывает, что несколько, а иногда питание на транзистор попадает через несколько фильтров.

Т-193. Составной транзистор — простейший двухкаскадный усилитель, в котором входная цепь второго транзистора сама служит нагрузкой первого. Емкость разделительного, или, иначе, переходного, конденсатора $C_р$, через который сигнал передается из коллекторной цепи на базу следующего каскада, выбирается с учетом усиливаемой частоты: чем более низкие частоты нужно усиливать, тем больше должна быть эта емкость. Потому что с уменьшением частоты растет емкостное сопротивление конденсатора (Т-76), и чтобы сопротивление это не оказалось слишком большим, чтобы переходной конденсатор не забрал себе (Т-8) заметную часть усиленного сигнала, приходится увеличивать его емкость, уменьшая тем самым емкостное сопротивление. В транзисторных высокочастотных усилителях емкость переходного конденсатора обычно составляет 10—50 тысяч пикофарад, в низкочастотных усилителях — 10—50 микрофарад. Здесь многое еще зависит от нагрузки и особенно от входного сопротивления следующего каскада, потому что это сопротивление вместе с емкостным сопротивлением переходного конденсатора образуют делитель напряжения. В самом общем виде можно так изложить соображения по выбору переходного конденсатора: его емкостное сопротивление на самой низкой из усиливаемых частот должно быть значительно меньше, чем входное сопротивление транзистора, на вход которого этот конденсатор передает усиленный сигнал.

Есть особый класс усилителей, который рассчитан на усиление очень медленно меняющихся сигналов. Настолько медленно, что большие отрезки времени, целые часы, а то и сутки сигнал вообще остается постоянным. Эти усилители так и называют — усилителями постоянного тока, или, сокращенно, УПТ. В качестве примера УПТ можно назвать усилитель, задача которого — поднять уровень сигнала, поступающего с фотоэлемента в автомате включения уличного освещения (Т-265). Уровень сигнала на входе такого УПТ может измениться на какие-то проценты в течение целого часа, говорить о частоте сигнала здесь вообще трудно, настолько она мала. И если бы пришлось подбирать переходные конденсаторы для такого УПТ, то их емкость, наверное, должна была бы измеряться миллионами, а то и миллиардами микрофарад. Конденсаторов с такими емкостями не существует, и многокаскадные усилители постоянного тока собирают вообще без переходных конденсаторов, соединяя коллекторную нагрузку с входом следующего каскада непосредственно, просто проводником. Здесь появляются свои трудности, в частности, постоянное напряжение с коллектора попадает на базу следующего транзистора, и нужно сделать так, чтобы оно не нарушило режим этого второго транзистора по постоянному току. Но это задачи решенные, и УПТ довольно часто можно встретить, особенно в устройствах автоматики.

Разновидность усилителей постоянного тока — это так называемые составные транзисторы, где нет уже не только переходных конденсаторов, но и самой коллекторной нагрузки первого каскада — роль этой нагрузки выполняет входное сопротивление следующего каскада (Р-111; 1, 2). Иногда в составной транзистор входят три, а то и четыре отдельных прибора (Р-111; 3). Составной транзистор можно рассматривать как один усилительный прибор, характеристики которого определяются всеми вошедшими в него отдельными транзисторами и их взаимным соединением. В частности, общий коэффициент усиления B равен произведению этих коэффициентов всех транзисторов.

Одно достоинство составного транзистора сразу же бросается в глаза —

в нем нет «лишних деталей», нет конденсаторов, резисторов. А вот другое достоинство: составной транзистор из-за того, что в нем нет переходных конденсаторов, усиливает самые низкие частоты, что, кстати, относится ко всем УПТ. Но, конечно, эти достоинства не достаются бесплатно: из-за взаимной связи транзисторов по постоянному току составной транзистор очень чувствителен к изменениям питающих напряжений и температуры. А кроме того, из-за трудностей согласования входных и выходных сопротивлений внутри самого составного транзистора, не удается выжать из усилительных приборов все, что они могли бы отдать в обычных схемах. Составные транзисторы часто можно встретить в полупроводниковых интегральных схемах (Т-303), где особо ценится возможность экономить конденсаторы или резисторы.

Т-194. Двухтактный усилитель: транзисторы поочередно посылают к нагрузке токи разного направления, которые в самой нагрузке суммируются. Если не хватает мощности одного транзистора, то в принципе можно (на практике стараются этого не делать) соединить два транзистора параллельно. А можно сложить выходные сигналы двух транзисторов иным способом — создать так называемый двухтактный усилитель. Когда-то двухтактные усилительные схемы называли «пушпул», что в переводе на русский значит «тянитолкай». Так, кстати, звали одного из ближайших помощников доктора Айболита — лошадь, у которой было две головы — одна спереди, другая сзади. Это удивительное животное называется Пуш-ми-Пул-ми в сказке Гью Лофтинга «Доктор Дулитл», которую в свое время пересказал нам Корней Иванович Чуковский. Головы Тянитолкая поочередно спят и кушают, и животное всегда следит, чтобы к нему не подкрался охотник. Именно поэтому, уверяет автор, Тянитолкая до сих пор нет ни в одном зоопарке.

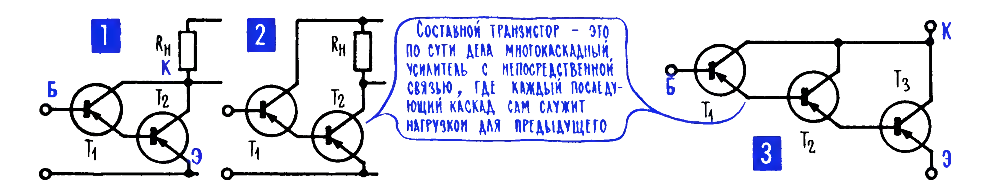
Т-194

Электронный тянитолкай, двухтактный усилитель, никак не отнесешь к редким явлениям. Двухтактные каскады очень широко используются в усилительной технике, и прежде всего в мощных каскадах усилителей НЧ. Сначала несколько слов о том, «как это делается», а затем, что дает.

Простейшая двухтактная схема на транзисторах одинаковой проводимости показана на Р-112; 1. На базы транзисторов T_1 и T_2 усиливаемые сигналы подаются в противофазе. В данном случае эта задача решена с помощью входного трансформатора $Tp_{вх}$ с двумя вторичными обмотками $II_а$ и $II_б$, но существуют и иные способы получения двух противофазных сигналов (Т-196).

То, что напряжения $U_{вх_1}$ и $U_{вх_2}$ именно противофазны относительно средней точки, связано только с определенным включением обмоток $II_а$ и $II_б$. Не забудьте: поменять местами концы обмотки — это значит повернуть фазу на 180° (Т-171). Противофазными напряжения $U_{вх_1}$ и $U_{вх_2}$ получаются в том случае, если обмотки $II_а$ и $II_б$ намотаны в одну сторону и начало одной из них соединено с концом другой. То есть если сделан отвод от средней точки всей вторичной обмотки (Р-113; 1).

Поскольку напряжения на базах T_1 и T_2 действуют в противофазе, то и сами коллекторные токи этих транзисторов тоже меняются в противофазе: когда один нарастает, второй уменьшается. Эти токи проходят каждый по своей секции $I_а$ и $I_б$ первичной обмотки выходного трансформатора $Tp_{вых}$. И каждый из коллекторных токов наводит часть тока $I_н$ во вторичной обмотке этого трансформатора, к которой подключена нагрузка. Теперь главное — секции выходного трансформатора $I_а$ и $I_б$ соединены таким образом, что токи $I_{н_1}$ и $I_{н_2}$, которые создаются в нагрузке каждым из транзисторов, суммируются. И общая мощность сигнала в нагрузке — это суммарная мощность, результат согласованных действий обоих транзисторов.



Т-195. Двухтактные схемы могут работать с отсечкой коллекторного тока в экономичных классах усиления В и АВ. Для чего нужны все эти фокусы с фазами? Что дает в итоге создание двух противофазных сигналов на входе усилителя и складывание противофазных токов в нагрузке? Окупаются ли сложности, связанные с созданием двухтактного каскада?

Начнем с мелочей. Постоянные составляющие коллекторных токов создают в выходном трансформаторе постоянные магнитные поля противоположного направления и, как это уже не раз бывало с враждующими полями, они просто-напросто уничтожают друг друга. В итоге выходной трансформатор работает без постоянного подмагничивания, его стальной сердечник может быть меньше и без воздушного зазора (К-4; 19, 20).

Действуют друг против друга и магнитные поля, созданные токами четных гармоник, если они появляются в выходном сигнале из-за нелинейных искажений. Таким образом, двухтактная схема в значительной мере снижает нелинейные искажения.

И наконец, еще одно достоинство, очень часто оно оказывается решающим: двухтактная схема позволяет работать в режимах усиления, которые мы до сих пор считали неприемлемыми,— в режимах с отсечкой коллекторного тока, при которых искажается форма сигнала, появляются страшные нелинейные искажения (Т-180).

Говорят, что если пессимисту и оптимисту дать по половине стакана сока, то первый заноет: «Вот... Полстакана уже нет...», а второй обрадуется: «Ура!.. Еще есть полстакана!» Если бы попросить пессимиста рассказать о событиях в двухтактном каскаде, который работает с отсечкой $\Theta = 90°$ (Р-101. Р-112; 1, 3), то оценка событий, по-видимому, была бы такой: «В транзисторах происходит что-то ужасное... Они работают через такт, безумно искажают сигнал, срезают чуть ли не целый полупериод». Иначе, наверное, оценил бы события оптимист: «Транзисторы работают прекрасно... Они поочередно дают отличный неискаженный сигнал, каждый из них без искажений воспроизводит целый полупериод...»

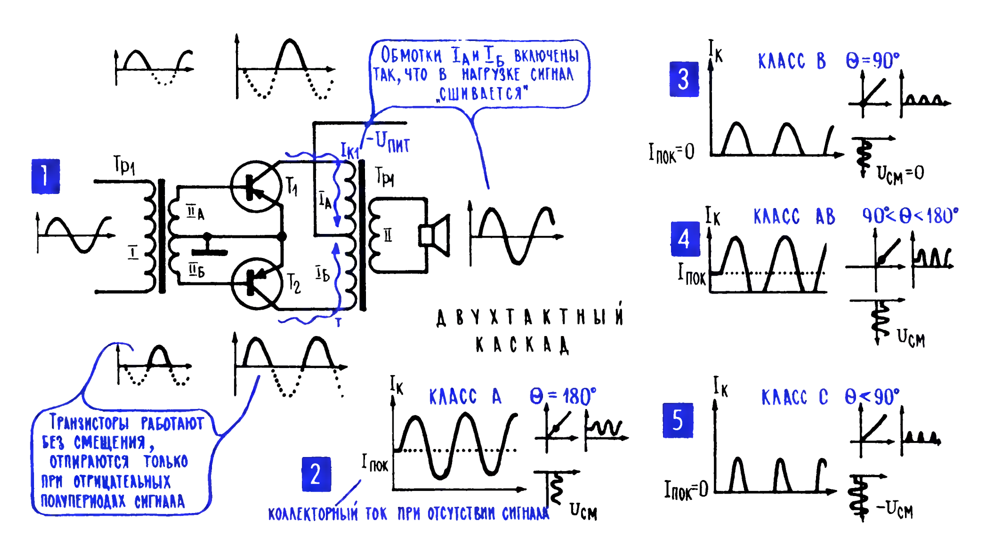
Именно такие неискаженные полупериоды используются в двухтактных каскадах, работающих с отсечкой. Каждый транзистор в течение своего «неискаженного полупериода» создает ток в нагрузке, а оба транзистора, работая через такт, создают целый, неискаженный сигнал, он как бы сшивается из двух половинок. При этом мощность выходного сигнала оказывается вдвое больше, чем мог бы дать один транзистор. А мощность, потребляемая от источника питания таким двухтактным каскадом, примерно в полтора раза меньше, чем потребовалось бы на создание такой же выходной мощности с помощью однотактного выходного каскада, работающего без отсечки. Это, согласитесь, огромное достоинство, особенно для переносной батарейной аппаратуры.

При работе без отсечки — такой режим называется классом усиления А — в коллекторной цепи протекает ток покоя $I_{пок}$ даже в том случае, когда на входе вообще нет сигнала. А самая большая амплитуда переменной составляющей коллекторного тока не может быть больше, чем ток покоя $I_{пок}$

(Р-112; 2). Поэтому класс А, то есть усиление без отсечки, в принципе не может дать бо́льшую выходную мощность, чем половина мощности, потребляемой от коллекторной батареи. То есть, иными словами, коэффициент полезного действия (к. п. д.) усилителя не может быть больше, чем 50%. И это, заметьте, при самой большой амплитуде переменной составляющей коллекторного тока, которая соответствует самым громким звукам. А при меньших переменных составляющих к. п. д. еще меньше: ток покоя от коллекторной батареи потребляется такой же, а выходной сигнал имеет значительно меньшую мощность. Средний к. п. д. усилителя НЧ в классе А — 20—30%.

Совсем другое дело при усилении в классе В (угол отсечки $\Theta = 90°$, то есть каждое плечо двухтактного усилителя работает ровно половину периода) и в классе усиления АВ (угол отсечки Θ больше 90°, каждый транзистор работает больше, чем полпериода). Во-первых, в этих режимах потребляемый ток составляет примерно 60% от амплитуды переменной составляющей. И кроме того, потребляемый ток меняется в зависимости от уровня сигнала. В классе В: если сигнала нет, то ток от батареи вообще не потребляется; при небольших сигналах и потребляемый ток мал. В классе АВ некоторый начальный ток $I_{пок}$ потребляется и при отсутствии сигнала (Р-112; 4), но так же, как в классе В, этот потребляемый ток увеличивается лишь по мере того, как усиливается сигнал. Кстати, в названии классов усиления В и АВ подразумевается буква В; иногда пишут: «классы усиления Б и АБ».

Реальный звук — речь или музыка — бывает то громким, то тихим, в какие-то моменты вообще наступает пауза. Усилители класса А, не считаясь с этим, потребляют и потребляют энергию батарей, не снижая своих аппетитов. А усилители классов АВ и особенно В берут энергию только для дела, и берут ее очень экономно, по-хозяйски: чем меньше полезная работа, чем меньше мощность усиливаемого сигнала, тем меньше и потребляемая энергия. И в итоге это дает огромный экономический эффект: при воспроизведении реальной речи или реальной музыки с паузами, с изменениями громкости класс В оказывается в среднем чуть ли не в четыре раза экономичнее, чем класс А. Если же, повернув регулятор громкости, вы несколько убавите уровень сигнала, удовлетворившись сравнительно тихим звучанием, то разница эта вообще окажется огромной — класс А, как всегда, почти не сбавит своих



аппетитов, и окажется, что класс В потребляет энергии в десять, а то и в двадцать раз меньше. Уже одна эта экономичность, не говоря о других достоинствах, вполне оправдывает применение двухтактных схем.

Попутно отметим, что на базу усилителя, работающего в классе А, подается довольно большой «минус», который и устанавливает ток покоя. При работе в классе В вообще никакого смещения на базу не подается. Именно поэтому транзистор полпериода закрыт, его отпирает только отрицательный полупериод, только «минус» на базе, а положительный полупериод, «плюс», напрочь закрывает транзистор. Недостаток чистого класса В в том, что при слабых сигналах, при малых отпирающих напряжениях транзистор работает на нелинейном участке входной характеристики, на участке начального загиба, ступеньки (Р-80). Чтобы уменьшить нелинейные искажения слабых сигналов, отказываются от чистого класса В, подают на базу небольшое начальное смещение и работают с углом отсечки чуть больше, чем 90°, то есть в классе АВ. При этом, естественно, в коллекторной цепи существует небольшой ток покоя.

Т-196. Остроумные схемные решения позволяют создавать разнообразные двухтактные схемы, в том числе бестрансформаторные. Двухтактная схема с входным и выходным трансформаторами имеет ряд достоинств, в их числе относительная простота, надежность, возможность применить простые схемы температурной стабилизации, небольшое число транзисторов. Трансформаторные схемы можно встретить и в очень мощных усилителях, и в самых маломощных, в частности в усилителях НЧ многих карманных и переносных приемников, промышленных и любительских (К-7). От трансформаторной схемы отказываются чаще всего из-за значительных искажений в ней. Искажений и частотных (Т-119), и нелинейных, связанных с нелинейностью характеристики намагничивания (Т-236).

Еще в ламповую эпоху, а особенно с появлением транзисторов разной проводимости, было найдено много остроумных схемных решений, позволивших строить бестрансформаторные усилители НЧ. В числе схемных находок, например, бестрансформаторный фазоинвертор (в переводе «поворачиватель фазы», то есть схема, с помощью которой для двухтактного усилителя получают два противофазных входных напряжения), показанный на Р-113; 2. Этот каскад — гибрид схемы ОЭ (нагрузка в цепи коллектора) и схемы ОК (нагрузка в эмиттере). На вход, как обычно, поступает один сигнал $U_{вх}$, а на выходах появляются два сигнала $U_{вых_1}$ и $U_{вых_2}$ с противоположными

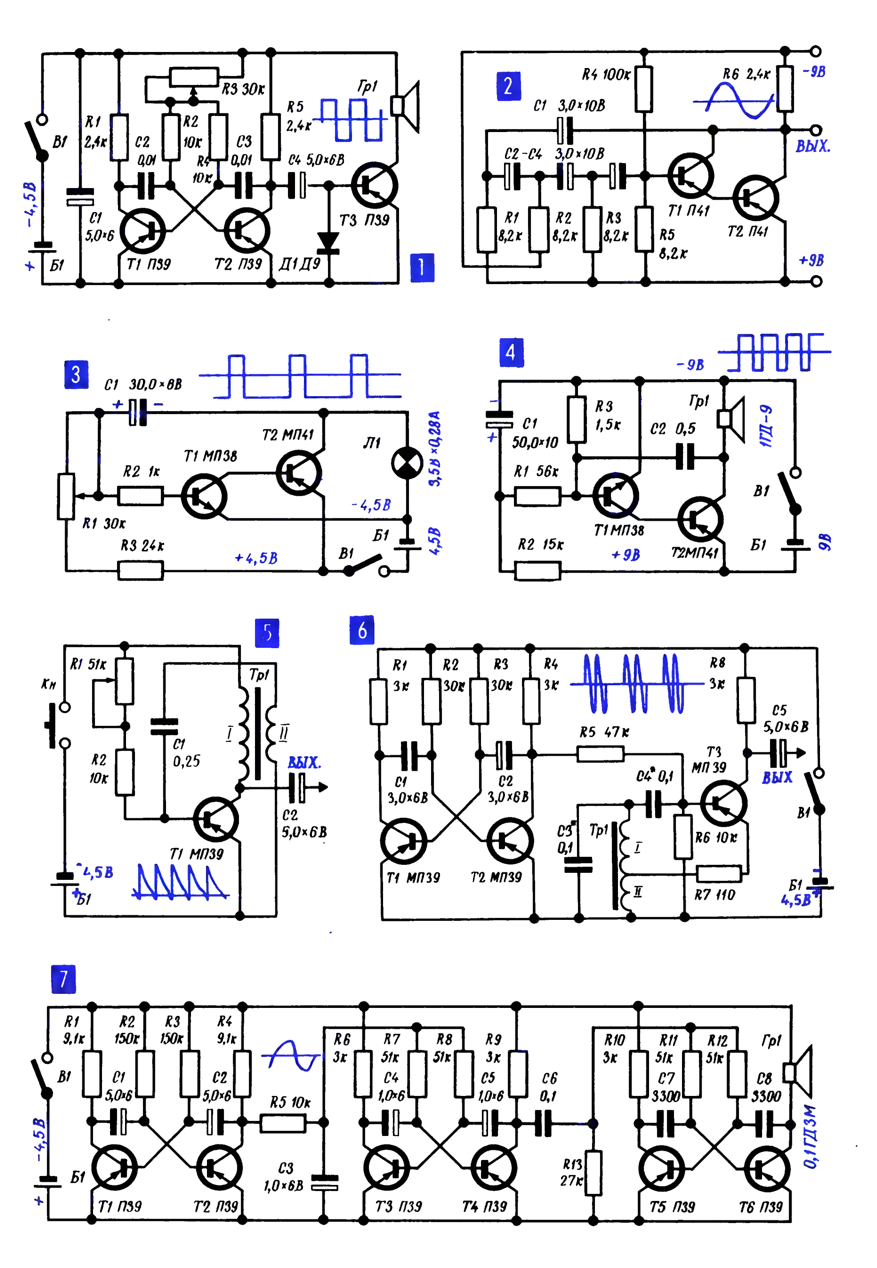
К-10. ТРАНЗИСТОРНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

1. Мультивибратор. Наиболее распространенная схема этого класса генераторов (Т-176, Р-99), в данном случае его частоту можно плавно менять в небольших пределах с помощью R3. Примерные данные схемы для некоторых частот — в С-17.

2. *R C*-генератор (Т-175, Р-98). При приведенных на схеме данных деталей частота колебаний около 5 *Гц*. Данные R1 = R2 = R3 и C1 = C2 = C3 для других частот — в таблице С-17.

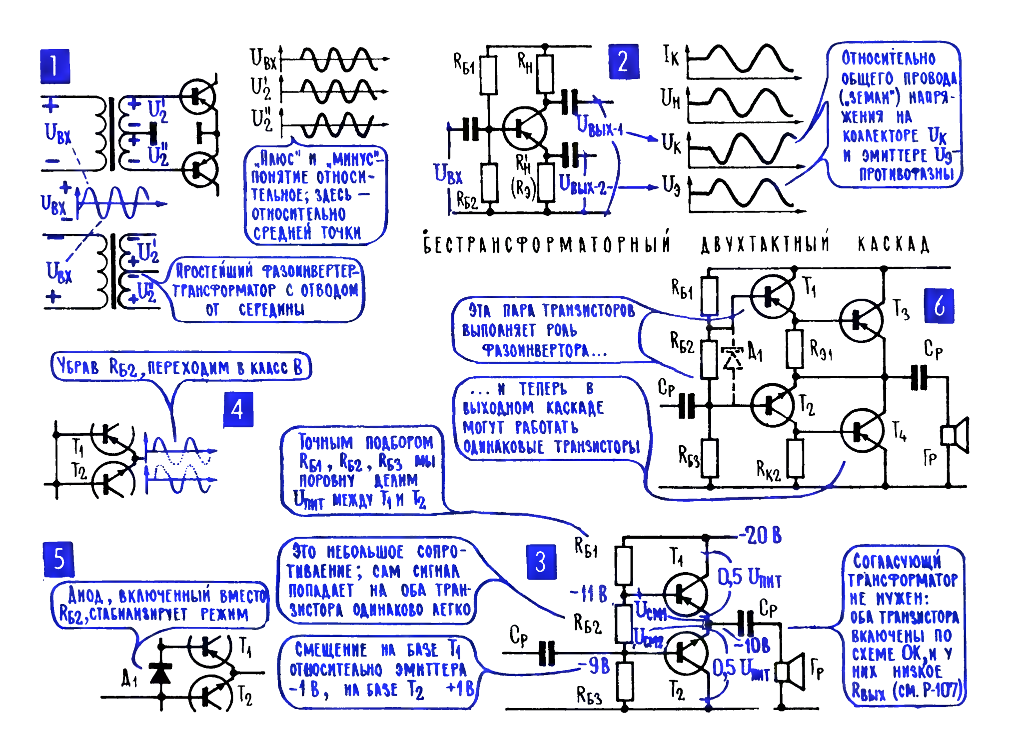
3, 4. Две схемы простых генераторов. В них частота сигнала определяется RC-цепями; в первой схеме (3) это весьма низкая частота: несколько *Гц* или доли *Гц*. Во второй схеме частота лежит в пределах звукового диапазона.

5. Блокинг-генератор. Частоту его сигнала можно менять, изменяя R1 или C1. На основе этого генератора можно сделать простейший электромузыкальный инструмент или индикатор сопротивления. Так, например, если с помощью двух электродов включить вместо R1 некоторый объем воды, то звуковой тон будет меняться в зависимости от уровня воды или, например, ее солености. В качестве Тр1 можно взять БТК (блокинг-трансформатор кадровый) от любого телевизора. Выходное сопротивление такого генератора велико, его нужно подключать к каскаду с большим входным сопротивлением.



6. Генератор прерывистых колебаний. Состоит фактически из двух генераторов, один из которых управляет работой другого. Первый генератор (Т3) собран по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью, его частота 200—500 *Гц*. В качестве Тр1 можно включить обмотку (500—1000 витков с отводом от середины) любого низкочастотного трансформатора, скажем от карманного приемника. Второй генератор (Т1, Т2) — стандартный мультивибратор, он управляет работой Т3, и таким образом схема дает импульсы звукового сигнала (Бип-бип-бип...).

7. Звуковая игрушка «Соловей». Три связанных мультивибратора, работающих на разных частотах. Два мультивибратора (Т1, Т2 и Т3, Т4) работают на частотах 0,3—2 *Гц* и управляют звуковым мультивибратором (Т5, Т6). Случайные фазовые совпадения сигналов создают звук, сложным образом модулированный и имитирующий пение соловья.



фазами. Противоположные фазы у этих напряжений получаются потому, что одно из них снимается с коллекторной нагрузки, а второе — с эмиттерной. И в тот момент, когда под действием $U_{вх}$ коллекторный ток растет, напряжение на коллекторе уменьшается (Р-87), а напряжение на эмиттере возрастает. Это как раз и означает, что $U_{вых1}$ и $U_{вых2}$ противофазны.

Включение транзисторов по схеме ОК, которая, как известно, отличается низким выходным сопротивлением (Р-107), позволяет в выходных каскадах отказаться от согласующего трансформатора и включать громкоговоритель прямо в эмиттерную цепь транзистора в качестве нагрузки. Используя транзисторы разной проводимости, можно собрать и двухтактный выходной каскад без привычного фазоинвертора, например по схеме Р-113; 3, которая работает в классе В (без смещения), если нет резистора $R_{б2}$ (Р-113; 4), или в классе АВ, если есть $R_{б2}$. Здесь нагрузка (громкоговоритель) включена в эмиттерные цепи обоих транзисторов, и они поочередно создают в этой нагрузке ток, складывают, сшивают из двух половинок выходной сигнал. По постоянному току оба транзистора соединены последовательно, причем напряжение общей коллекторной батареи делится между этими транзисторами поровну.

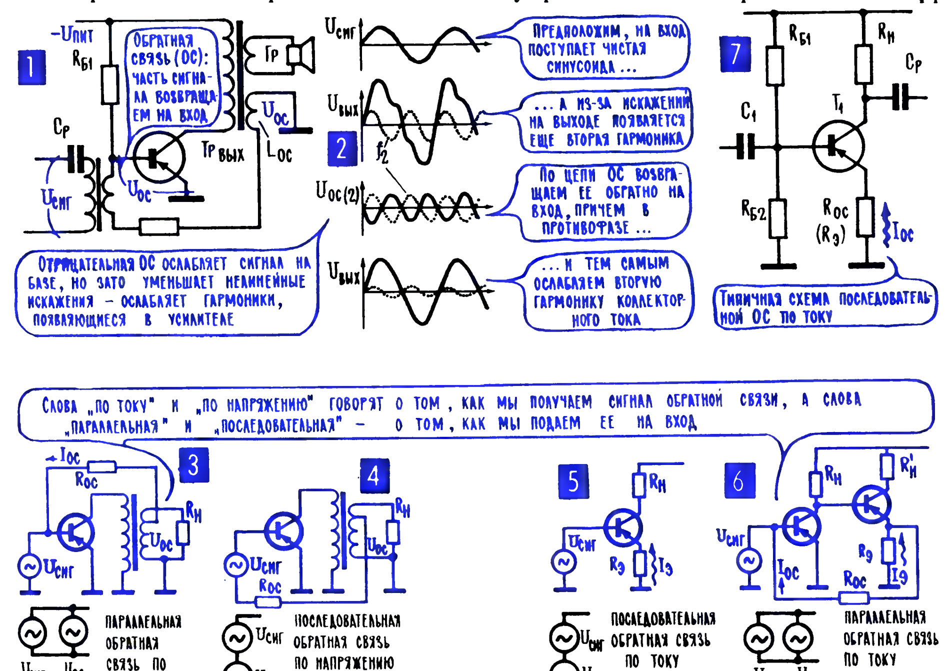
Начальное смещение $U_{см}$ создается на резисторе $R_{б2}$. Оно «минусом» подается на базу T_1 и «плюсом» на базу T_2 (относительно их эмиттеров). Нужно сказать, что это слабое место бестрансформаторных каскадов с последовательным питанием. Приходится принимать особые меры, чтобы при изменении температуры сохранялась симметрия «половинок» двухтактного каскада. Одна из таких мер — включение диода $Д_1$ вместо резистора $R_{б2}$ (Р-113; 5).

Падение напряжений на открытом диоде очень слабо меняется при изменении тока через диод, и если использовать это напряжение в качестве сме-

щения, то диод окажется элементом, стабилизирующим режим транзисторов. Напряжение на германиевом диоде 0,2 *В*, нередко и половины его хватает, чтобы усилитель работал в классе АВ, в основном миновав начальный загиб характеристики. Можно и побольше открыть транзисторы, включив кремниевый диод, на котором напряжение около 0,6 *В*, или включив два-три диода последовательно.

В очень распространенном варианте бестрансформаторного двухтактного выходного каскада работают составные транзисторы (Р-113; 6, К-13), и каждая эта пара представляет собой эмиттерный повторитель. Как всякий эмиттерный повторитель, такой двухтактный каскад не усиливает напряжение (Т-190), он усиливает мощность, и перед входным блоком всегда включают два-три каскада предварительного усиления. Вот одно из главных достоинств таких схем: в них нет такого опасного источника частотных искажений, как выходной трансформатор, и бестрансформаторные каскады могут работать с очень небольшими искажениями. Особенно если они охвачены глубокой отрицательной обратной связью.

Т-197. Отрицательная обратная связь по переменному току позволяет уменьшать нелинейные искажения. Во всех популярных книжках о кибернетике можно встретить имя английского мальчика Гемфри Поттера, который, как полагают, первым догадался применить в машине обратную связь. Было это лет двести назад, Гемфри работал на одной из шахт южной Англии, занимая удивительную должность: на большом насосе для откачивания воды он работал открывателем кранов. Насос приводился в движение паром, и мальчик целый день делал одно и то же: поворачивал рукоятку крана, направляя пар то в одну часть парового цилиндра, то в другую, заставляя таким образом поршень двигаться то в одну сторону, то в другую. В какой-то момент мальчик сообразил, что поршень может сам управлять своей работой. Гемфри



довольно простым способом соединил кран с поршнем так, что поршень, двигаясь сам, стал поворачивать рукоятку крана, сам стал сообщать крану, в каком положении он, поршень, находится и куда нужно пустить пар. Это была обратная связь, обратное влияние следствия на причину, влияние движущегося поршня на давление пара, который приводил поршень в движение.

Хотя Гемфри Поттер и вошел в историю техники, справедливости ради нужно отметить, что обратная связь применялась еще до того, как мальчик связал веревочкой края парового насоса с поршнем. Причем задолго до того. Достаточно вспомнить, что обратные связи на каждом шагу встречаются в живых организмах, которые миллиарды лет обитают на нашей планете. Сотни, тысячи систем с обратной связью работают в каждом из нас. Сердце гонит кровь через легкие, где она получает кислород, а управляет работой сердца, в числе других факторов, уровень насыщения крови кислородом. Это и есть обратная связь — следствие (насыщение кислородом) влияет на причину (скорость кровотока). Еще пример: химический состав крови, в частности содержание углекислого газа в ней, влияет и на частоту дыхания (при чина), а значит, в итоге на процессы газового обмена крови с воздухом (следствие) в легких.

Очень широко используются обратные связи в технике, в частности в электронике. Один из примеров нам уже знаком — это генератор с самовозбуждением. Небольшая часть энергии, переданная по цепи обратной связи с выхода транзистора на его вход, дает указания, как нужно «открывать кран», как нужно менять напряжение на базе (причина), чтобы поддержать изменения коллекторного тока (следствие). Используется обратная связь и в усилителях низкой частоты, но, в отличие от генераторов, уже не положительная обратная связь (Р-97; 3, 4), а отрицательная (Р-97; 5). Это значит, что сигнал обратной связи U_{oc} не помогает, а мешает поступающему с предыдущего каскада сигналу $U_{сиг}$, действует с ним в противофазе, уменьшает общее напряжение $U_{вх}$ на входе усилителя (Р-114; 1).

Можно сразу сказать, что отрицательная обратная связь снижает усиление каскада — раз ослабляется входной сигнал, то уменьшается и выходной, слабее становится «мощная копия». Но зато отрицательная обратная связь позволяет делать то, чего никаким иным способом добиться не удалось бы,— она позволяет снизить нелинейные искажения, которые появляются в каскаде. Крайне упрощенно это показано на Р-114; 2.

Все дело в том, что отрицательная обратная связь приносит на вход не только основной сигнал, но все его новые составляющие, которых там не было, они появились в результате искажений. Причем они действуют на входе в такой фазе, что сами ослабляют посторонние составляющие коллекторного тока. Конечно же, и мы сразу это признали, одновременно ослабляется и основной сигнал. Но такую неприятность можно скомпенсировать, подав несколько больший сигнал от предыдущего каскада. И, заплатив некоторым количеством, некоторым дополнительным усилением, можно выиграть качество, выиграть верность воспроизведения звука, естественность звучания. Особенно нужна отрицательная обратная связь в выходных каскадах, работающих в классах В и АВ, так как в них из-за сложных операций с сигналом, из-за его разрезания и сшивания легче всего могут появляться нелинейные искажения.

Иногда отрицательной обратной связью охватывают один каскад усилителя, а иногда сразу несколько каскадов (К-13). При этом существует четыре варианта обратной связи, к которым в итоге сводится все многообразие схем. Вот эти четыре варианта: последовательная и параллельная обратная

связь по напряжению и последовательная и параллельная обратная связь по току. Слова «последовательная» и «параллельная» говорят о том, каким способом обратная связь вводится во входную цепь: последовательно с источником сигнала или параллельно ему. А слова «по напряжению» и «по току» говорят о том, как сигнал обратной связи получают с выхода усилительного каскада.

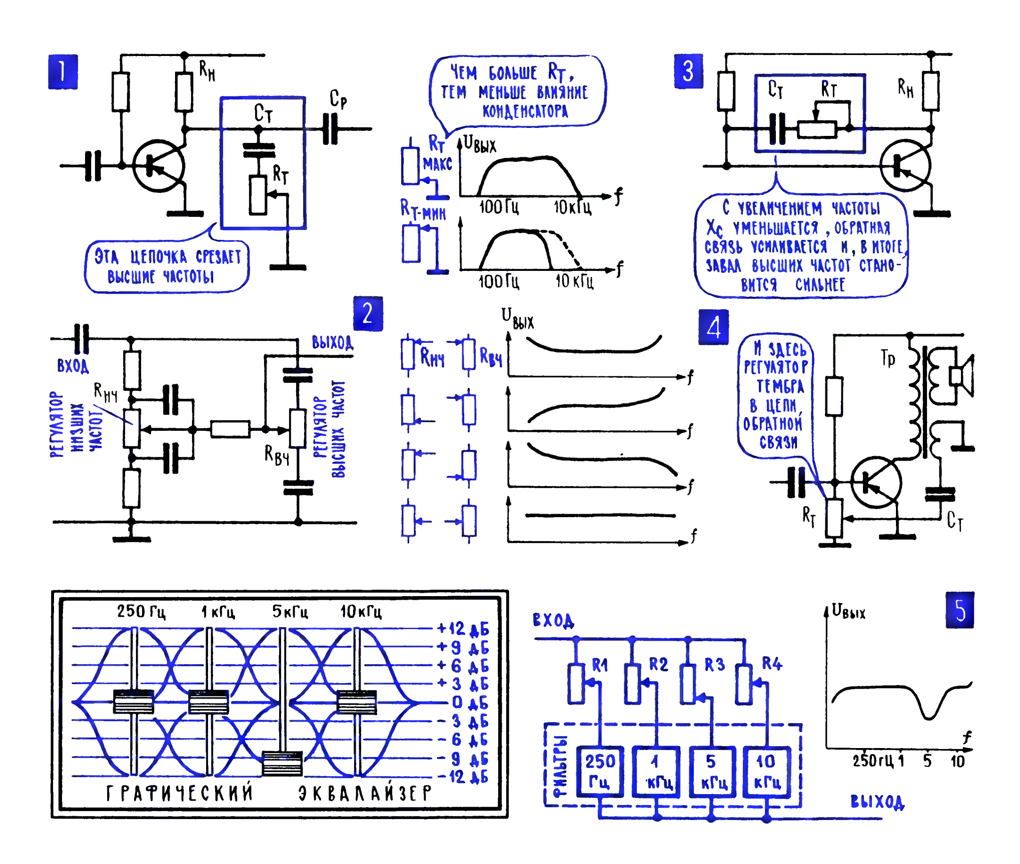
Если напряжение обратной связи определяется током усилительного каскада и мало зависит от выходного напряжения, то это обратная связь по току. Так, например, если в схеме ОЭ в цепь эмиттера включен резистор $R_э$ без обычного конденсатора $C_э$ (Р-114; 5), то на этом резисторе создается напряжение обратной связи, и это напряжение как раз и определяется коллекторным током, то есть $R_э$ является элементом обратной связи по току.

Если в этой схеме мы будем менять выходное напряжение, например изменяя сопротивление нагрузки $R_н$, то напряжение обратной связи практически не изменится. А вот на схеме ОК (эмиттерный повторитель, Р-107; 4. Р-109) напряжение обратной связи — это фактически напряжение на самой нагрузке, которая включена в цепь эмиттера (в коллекторной цепи теперь уже резистора нет), и всякое изменение выходного напряжения — это одновременно и изменение обратной связи. То есть схема ОК создает обратную связь по напряжению. Так же, как и схема, в которой напряжение обратной связи снимается прямо со вторичной обмотки выходного трансформатора (Р-114; 1).

Т-198. Отрицательная обратная связь по постоянному току помогает автоматически поддерживать режим усилителя. Теперь мы можем так объяснить действие конденсатора $C_э$, который в традиционной схеме ОЭ (Р-93; 1) шунтирует резистор $R_э$ в эмиттерной цепи: этот конденсатор замыкает накоротко для переменного тока резистор $R_э$ и предотвращает таким образом отрицательную обратную связь. Но только по переменному току: постоянное напряжение, которое коллекторный ток создает на $R_э$, все равно приложено к базе, и всякие медленные изменения коллекторного тока (не сигнал, не переменная составляющая, а именно медленные изменения, связанные, например, с тепловым режимом или с заменой батареи) приведут к медленным изменениям напряжения на базе. Это так называемая обратная связь по постоянному току, в данном случае отрицательная обратная связь, потому что постоянное напряжение на $R_э$ на базу попадет «плюсом», то есть в полярности, которая закрывает транзистор. И всякое увеличение коллекторного тока, действуя «само на себя» через элемент обратной связи $R_э$, препятствует увеличению коллекторного тока. Без обратной связи он увеличивался бы сильнее. Т-198

Существуют и другие схемы отрицательной обратной связи по постоянному току, но все они в принципе действуют одинаково: увеличиваясь, коллекторный ток увеличивает некое постоянное напряжение, которое стремится его же и уменьшить. И вводятся такие схемы в большинстве случаев тоже с одной и той же целью — чтобы стабилизировать режим усилителя, автоматически поддержать ток при самых разных покушениях на его постоянство.

Т-199. Регуляторы тембра меняют частотную характеристику усилителя. Иногда полезно несколько ухудшить частотную характеристику усилителя, например поднять низшие частоты, которые слишком плохо воспроизводит громкоговоритель, или ослабить высшие частоты, частично подавить «шип» старой граммофонной пластинки. Для этого используются регуляторы тембра — электрические RC-цепочки, частотные свойства которых можно менять, изменяя, например, одно из сопротивлений. На Р-115; 1 самый простой регу- Т-199



лятор тембра — *RC*-цепочка с переменным резистором $R_т$. Цепочку чаще всего включают так, что она шунтирует участок усилительной схемы, старается замкнуть сигнал накоротко. Емкость $C_т$ подобрана с таким расчетом, чтобы на низших частотах ее емкостное сопротивление было достаточно большим, чтобы этот конденсатор, если он будет в схеме один (движок $R_т$ в крайнем верхнем положении), ослаблял бы лишь высшие частоты, заваливал частотную характеристику в области высших частот. Но если переменный резистор $R_т$ введен полностью, то конденсатор $C_т$ вообще ни на что не влияет, общее сопротивление цепи очень велико, и в нее почти не ответвляются ни высшие частоты, ни низшие.

На том же принципе действует распространенный регулятор тембра (Р-115; 2) с раздельной регулировкой высших и низших частот. Его элементы рассчитаны таким образом, что одна ветвь регулятора в зависимости от положения движка $R_{вч}$ заваливает или поднимает частотную характеристику в области высших частот, а вторая ветвь, в зависимости от положения движка резистора $R_{нч}$, меняет характеристику в области низших частот.

Работает такой регулятор очень эффективно, но уровень сигнала он только уменьшает, и поэтому для него нужно иметь значительный запас усиления.

Элементы, корректирующие частотную характеристику, в том числе и регуляторы тембра, можно в принципе включить и в цепь отрицательной обратной связи (Р-115; 3, 4). Причем здесь они все делают наоборот: те частоты, которые пропускаются без ослабления, создают более сильную обрат-

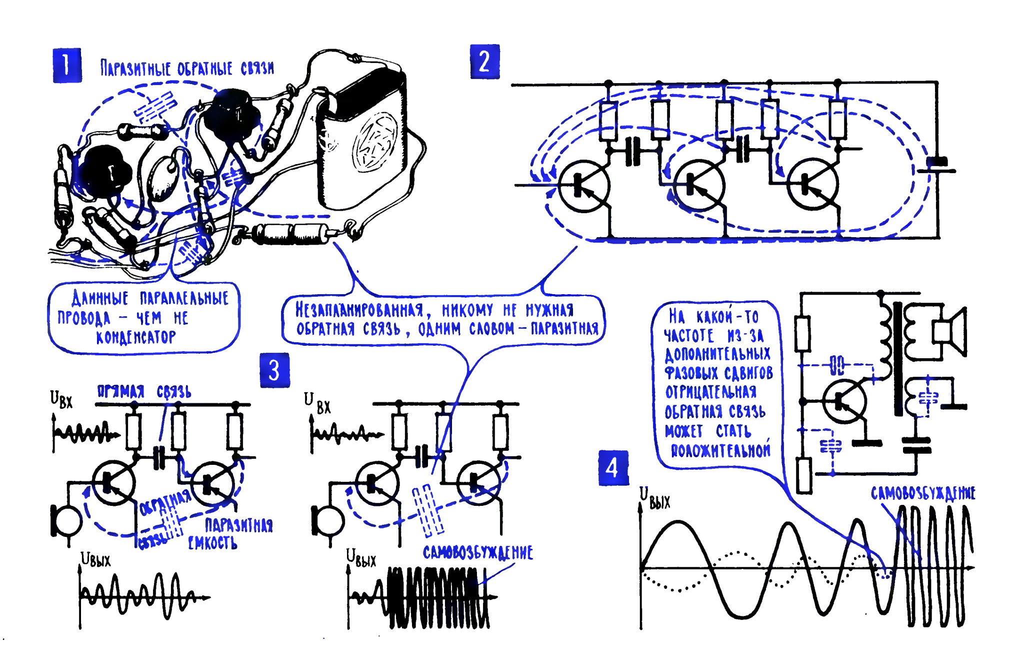
ную связь, и частотная характеристика в области этих частот заваливается.

В последние годы в аппаратуре высокого и среднего класса применяют регулятор тембра, получивший название «Эквалайзер» (Р-115;5). В нем весь воспроизводимый частотный диапазон с помощью фильтров делят на несколько участков и для каждого вводят свой регулятор усиления. Это позволяет, добиваясь желаемого звучания, на любом участке «поднять» либо «завалить» частотную характеристику. У каждого из регуляторов может быть свой светящийся индикатор, а иногда рычажки регуляторов совмещают с изображением частотной характеристики, это позволяет видеть, в какой области происходит ее корректировка.

Т-200. Фазовые сдвиги в усилителе могут привести к возникновению положительной обратной связи, к превращению усилителя в генератор. Помимо тех цепей отрицательной обратной связи, которые вводятся специально, в частности для ослабления нелинейных искажений, могут появиться незапланированные, паразитные цепи обратной связи. Например, через источник питания (Р-110). Или через общие для входа и выхода участки самого транзистора. Или, наконец, через электрические и магнитные поля, которые создаются выходными цепями и наводят сигнал во входных цепях (Р-116).

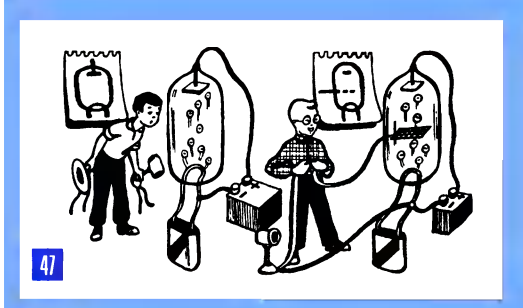
Паразитные обратные связи могут оказаться и отрицательными, и положительными, а может быть и так, что сигнал обратной связи, попав на вход транзистора, будет сдвинут по фазе относительно действующего там сигнала на какой-либо промежуточный угол в пределах от 0° до 360°. Кроме того, характер обратной связи может меняться с частотой — так же, как это наблюдалось в *RC*-генераторе (Т-173). Потому что любая *RC*-цепь на разных частотах создает разные сдвиги фаз (Р-116; 4).

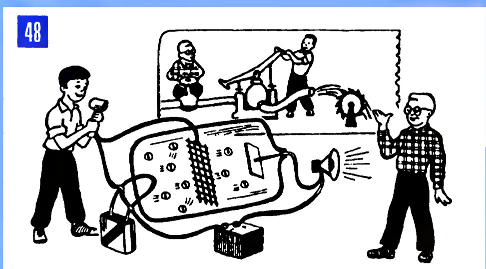
На все эти сложные явления можно было бы и не обращать внимания в усилителях НЧ, если бы не одно прискорбное обстоятельство: обратная

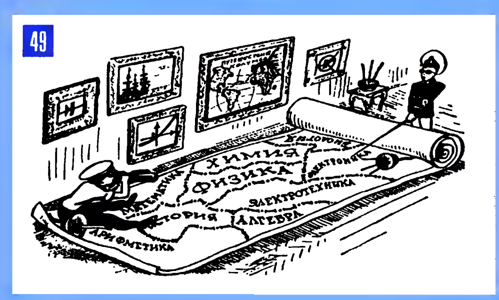


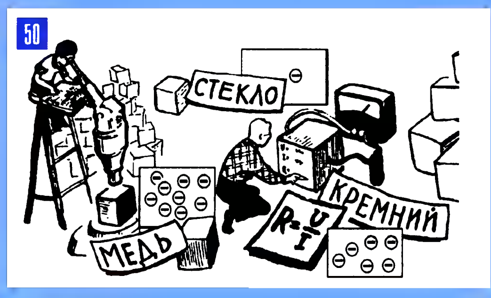
связь может оказаться настолько сильной, что будет выполняться условие связи (Т-171), и на частотах, где выполняется условие фаз, произойдет самовозбуждение усилителя, он превратится в генератор (Р-116; 3).

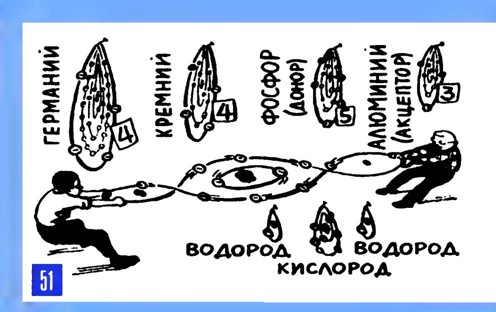
Устранить самовозбуждение усилителя непросто, особенно на высоких частотах. Заметив это, мы от усилителей низкой частоты переходим к усилителям высокой частоты, переходим к радиоприемникам.

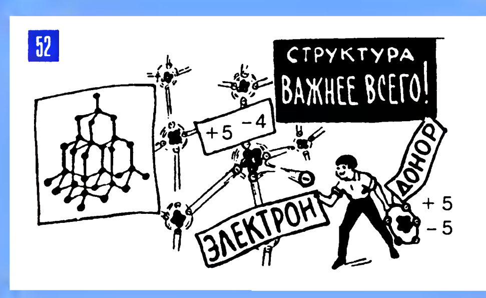


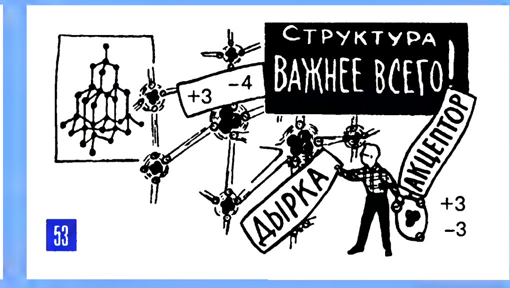


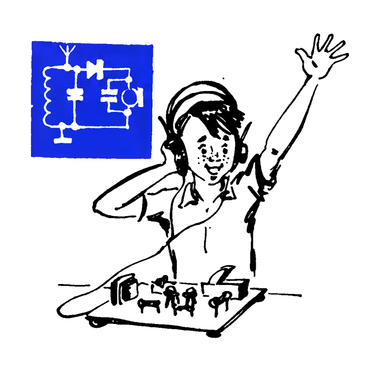












ГЛАВА 13

ПЕРЕХОЖУ НА ПРИЕМ

Т-201. Проводник, по которому идет переменный ток, излучает электромагнитные волны. В этом месте автору очень хочется сделать одно сугубо личностное заявление: люблю приемники! Конструировать и налаживать приемник — огромное удовольствие даже в наше время персональных компьютеров и шикарных электронных автоматов. Когда-то радиолюбители конструировали приемники, пытаясь конкурировать с промышленностью, получить более высокие технические характеристики и дополнительные удобства. Или реализовать в своем любительском приемнике какую-нибудь журнальную новинку, которая в серийной аппаратуре появится через годы. Или, наконец, построить приемник с хорошими параметрами при минимальных затратах. Т-201

Сейчас же все это ушло в область воспоминаний. Промышленность выпускает широкий ассортимент самых разных приемников, и уже давно приемник из предмета роскоши (когда-то говорили: «У него есть радиоприемник!» — с таким же почтением, с каким сейчас, наверное, сказали бы: «У него есть вертолет!») стал рядовым явлением.

И все же радиолюбители, особенно начинающие, продолжают сами строить приемники. Почему? Скорее всего, по двум причинам. Во-первых, потому, что, построив приемник, можно сразу же получить практически полезную вещь — играет музыка, рассказывают последние известия. Да и все это слышно так громко, что каждый может убедиться — человек сделал дело. А во-вторых, приемник — это прекрасная база для обучения радиоэлектронике. Об этом мы еще поговорим в конце этой главы, после того, как уже будет изложено существо дела. А сейчас пора начинать, нам предстоит пройти непростой, но очень интересный путь по радиоприемнику. Но начнем мы этот путь с радиопередатчика.

Движущиеся заряды, в частности заряды, образующие ток в проводнике, создают вокруг себя магнитное поле. Причем вдали это поле появляется не в тот же момент, что и у самой поверхности проводника, а с некоторым опозданием. Электрические и магнитные поля распространяются со скоростью света, то есть проходят в секунду 300 000 *км*, и на расстоянии 30 *м* от проводника поле появится через 0,0000001 *сек* (через одну десятимиллионную секунды).

Опоздание очень небольшое, но все же опоздание есть, и оно играет принципиально важную роль в процессе излучения свободных электромагнитных волн.

Когда по проводнику течет постоянный ток и вокруг него появляется магнитное поле, то это поле нельзя назвать свободным. Оно привязано к породившему его току: прекратите ток — и поле тут же исчезнет. Электрическое

поле существует вокруг скопления зарядов, тоже крепко привязано к этим зарядам: уберите заряд — и поля нет. Но совсем иначе ведут себя электрические и магнитные поля, если их создает непрерывно и быстро меняющийся ток или непрерывно и быстро меняющийся электрический заряд.

Старый, добрый, испытанный метод — мысленный эксперимент: пропускаем по проводнику переменный ток и следим за тем, что происходит с электрическими и магнитными полями на некотором расстоянии от этого проводника (Р-117; 1). Первое же нарастание тока создаст нарастающее магнитное поле: сначала оно появится у самой поверхности проводника, а затем, перемещаясь в пространстве со скоростью света, доберется и до точки *x*. Когда же ток начнет уменьшаться, то магнитное поле тоже будет ослабевать. И тоже не сразу — у поверхности проводника уже поля нет, а в точке *x* оно еще существует.

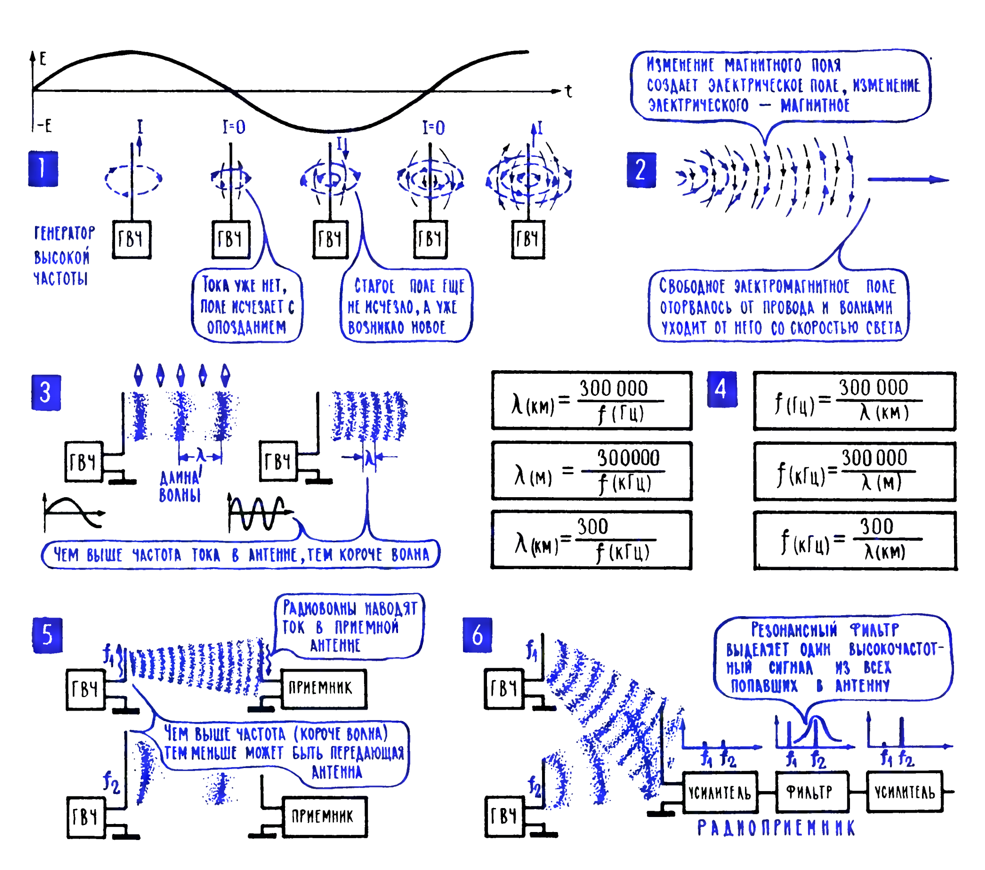
Теперь представьте себе, что ток в проводнике меняется очень быстро. И что в точке *x* еще не успело исчезнуть старое магнитное поле, как в проводнике начал действовать следующий полупериод тока и пошла в пространство следующая порция магнитного поля. Заглянув профилактически в Т-8, мы сможем в упрощенном виде так описать события: под действием переменного тока проводник один за другим посылает в пространство сгустки магнитных полей — каждый последующий новый сгусток подталкивает предыдущий, старый, отсекает его от проводника, и в пространство уходят свободные магнитные поля.

Ток в проводнике всегда появляется под действием напряжения, а значит, некоторого накопления зарядов. А они создают вокруг проводника и некоторое переменное электрическое поле. Переменное потому, что раз ток переменный, то и напряжение переменное, а значит, концентрация зарядов тоже меняется. С электрическим полем, по сути, происходит то же самое, что и с магнитным: один сгусток поля следует за другим, сгустки электрических полей, подталкиваемые следующими такими же сгустками, уходят от проводника, начинают самостоятельную свободную жизнь в пространстве.

Но электричество и магнетизм — это лишь два разных проявления одного электромагнитного процесса. И электрические поля, выброшенные в пространство, так же, как и магнитные, оказываются лишь составляющими единого сложного образования — электромагнитного поля. В этом поле происходит непрерывный обмен энергией между его составляющими, их взаимные превращения — изменения электрического поля рождают магнитное поле, а его изменения в свою очередь рождают электрическое поле. Проводник с переменным током излучает одновременно обе составляющие поля — электрическую и магнитную, они непрерывно переходят одна в другую, их уровень и направление все время меняются (Р-117; 2).

Т-202 **Т-202. Чем выше частота излучающего тока, тем меньше длина излучаемой электромагнитной волны.** В самых разных по своей природе волновых процессах есть некоторые общие черты. Так, скажем, волны на поверхности воды и звуковые волны имеют кое-что общее с таким не похожим на них объектом, как волны электромагнитные. Для всех для них, в частности, может быть введена одна и та же характеристика — длина волны. У морских волн — это расстояние между двумя соседними гребнями, у звуковых — расстояние между двумя участками с максимальным давлением (Р-63).

Длина электромагнитной волны — это расстояние между двумя соседними одинаковыми сгустками (одного и того же направления), электрической или магнитной составляющей. Если в мысленном эксперименте взять в руки компас и, остановив электромагнитную волну, перемещаться вдоль нее и



наблюдать за отклонением стрелки, то можно будет сказать: длина волны — это расстояние между двумя точками, где стрелка отклоняется в одну сторону и притом с одинаковой силой (Р-117; 3). Этот эксперимент относится к числу мысленных не потому, что его трудно осуществить, а потому, что его осуществить невозможно: электромагнитную волну остановить нельзя, она всегда в движении, всегда несется вперед со скоростью света.

Чем выше частота переменного тока, создавшего электромагнитную волну, тем чаще следуют друг за другом сгустки ее электрических и магнитных составляющих, тем, следовательно, короче длина волны (Р-117; 3). Чтобы подсчитать длину волны λ, нужно знать частоту f переменного тока и вспомнить, что скорость света $c = 300\,000$ *км/с*. За одну секунду ток совершит f полных циклов изменения (Т-68), а волна за эту же секунду успеет пройти 300 000 *км*. Поэтому между каждой парой соседних одинаковых сгустков окажется расстояние $\lambda = 300\,000 : f$ (Р-117; 4). Можно, кстати, дать такое определение длине волны: это расстояние, которое электромагнитная волна успевает пройти за время, равное одному периоду.

Т-203. С помощью электромагнитных волн можно создать канал связи. Проводник с переменным током, излучающий электромагнитные волны, сразу же назовем передающей антенной. На некотором расстоянии от него расположим другой проводник и назовем его приемной антенной (Р-117; 5, 6). Электромагнитные волны, добравшись от передающей антенны к приемной, наведут в ней переменный ток. Можно так описать появление тока в приемной антенне: электрическая составляющая поля будет двигать свободные заряды

в проводе так же, как электрическое поле двигало в свое время наэлектризованные клочки бумаги. Кроме того, магнитная составляющая поля, поскольку она непрерывно меняется, наведет в приемной антенне ток своим испытанным методом — за счет электромагнитной индукции (Т-57). А поскольку и электрическая и магнитная составляющие поля непрерывно меняются, то меняются и силы, которые двигают заряды в приемной антенне. Меняются и по величине, и по направлению. И наводится поэтому в приемной антенне переменный ток (Р-118; 1, 2).

Ток, который электромагнитная волна наведет в приемной антенне, будет, разумеется, очень слабым, потому что мощность излучающего тока, которая передается электромагнитным волнам, разносится ими во все стороны, размазывается по огромному пространству. Но важно другое: мощность излучения, интенсивность электромагнитного поля, следует по пятам за изменением тока в передающей антенне. А за мощностью излучения следует по пятам ток в приемной антенне. Поэтому ток в приемной антенне повторяет все изменения тока в передающей, оказывается его копией. Слабой копией, но точной. А это значит, что по линии связи — от передающей антенны к приемной — можно передавать информацию без соединительных проводов, используя электромагнитную волну как быстрого и исполнительного гонца. Главный процесс в такой системе беспроволочной электросвязи — это излучение. И поэтому сразу же назовем ее системой радиосвязи — «радио» можно перевести на русский как «связанный с излучением», это слово происходит от латинского «радиус» — «луч».

К-11. ТЕРМЕНВОКС И ЕМКОСТНОЕ РЕЛЕ

1, 2, 3, 4. Терменвокс — это электронный музыкальный инструмент, работает на том же принципе, что и первый в мире ЭМИ «Терменвокс», построенный еще в двадцатых годах Львом Сергеевичем Терменом (Т-276). Частота одного из высокочастотных генераторов (Т2) постоянна, она лежит где-то в районе 100 *кГц*. Генератор собран по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью (Т-172), катушка L2 на каркасе типа К-4;8; К-4;9; в ней 500 витков провода ПЭ 0,12—0,14, отвод от середины. Такая же катушка L1 в другом генераторе (Т1), его частоту можно менять с помощью С1; этот конденсатор удобно заменить двумя — подстроечным емкостью 5—25 *пФ*, параллельно которому включен конденсатор с постоянной емкостью 100 *пФ*. С помощью подстроечного конденсатора добиваются того, что оба генератора давали одинаковую частоту.

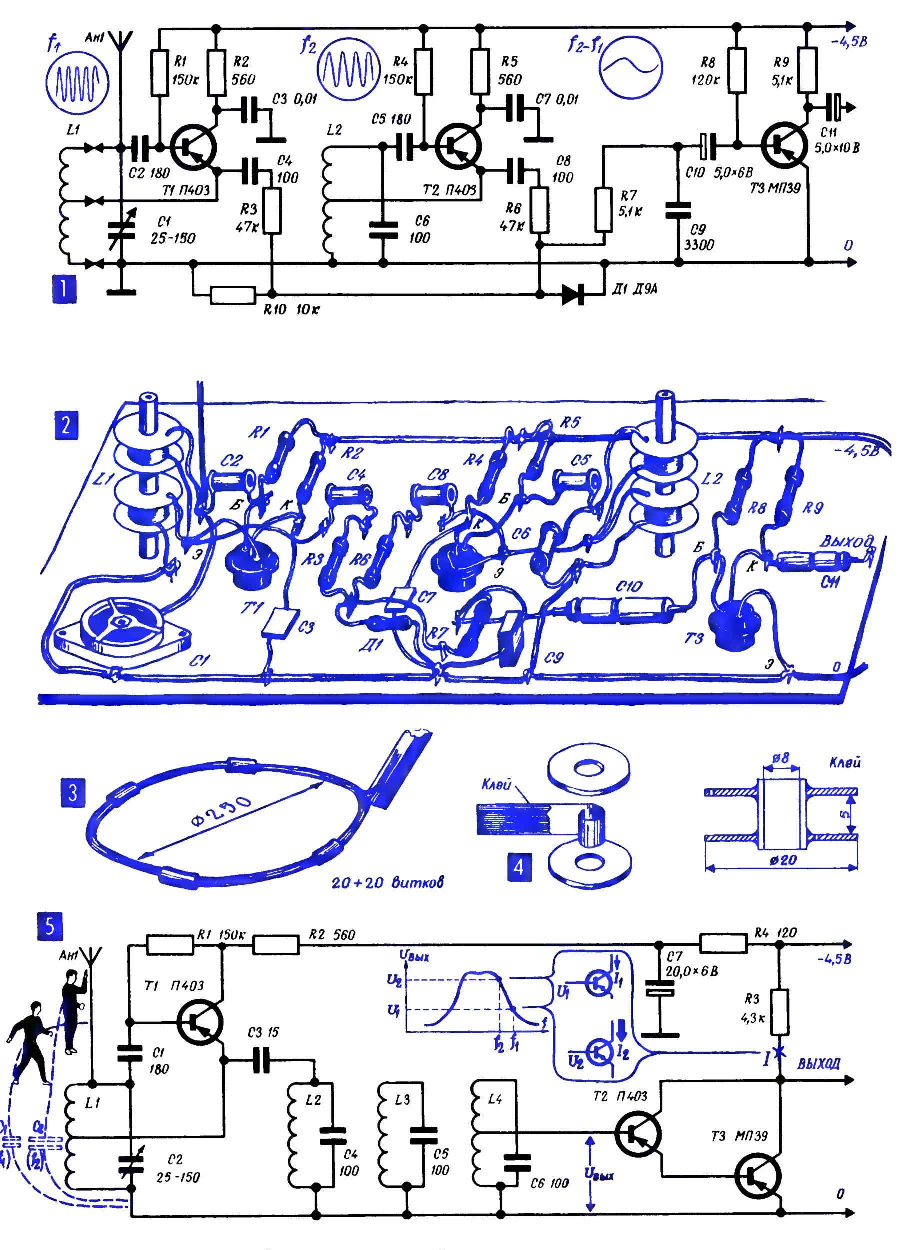
Через цепочки R3, С4 и R6, С8, ослабляющие влияние генераторов друг на друга, высокочастотные сигналы подаются на преобразователь частоты, выполненный на диоде Д1 (преобразование частоты может производить любой нелинейный элемент; Т-182). Конденсатор С9 замыкает накоротко все высокочастотные составляющие, и на вход усилителя НЧ (Т3) попадает только составляющая низкой частоты (разностной частоты). Она появляется, когда исполнитель подносит руку к антенне и несколько меняет тем самым частоту первого генератора.

Нужно стараться монтировать схему так, чтобы связь между генераторами была как можно меньше, для этого, например, разносят катушки L1 и L2, а иногда еще и экран ставят между ними, иначе происходит «затягивание» частоты, один генератор навязывает свою частоту другому и малые разностные частоты (десятки герц) получить не удается.

С выхода терменвокса (С11) низкочастотный сигнал подается на вход достаточно мощного усилителя НЧ (например, К-13).

Заменив катушку L1 многовитковой проволочной рамкой на длинной рейке и включив на выход к С11 головной телефон, можно превратить терменвокс в металлоискатель: когда рамка окажется над стальным предметом, индуктивность рамки изменится и в головных телефонах появится низкочастотный ток. Чем выше его частота, тем, значит, ближе к стальному предмету находится рамка. На этом же принципе работали миноискатели, с помощью которых во время Великой Отечественной войны саперы находили вражеские мины.

5. Емкостное реле. Подобные устройства часто называют электронным сторожем, они сигнализируют о приближении человека. Данная схема «чувствует» приближение человека или даже просто приближение руки на расстоянии 1—1,5 метра от антенны. Основа схемы — генератор, собранный по трехточечной схеме с индуктивной связью и заземленным по высокой



частоте коллектором (Т1, L1, С2; конденсатор С2 так же, как и в терменвоксе, можно заменить двумя — постоянным и подстроечным). Сигнал с генератора подается на трехконтурный резонансный фильтр и, детектируясь во входной цепи транзистора Т2 (транзистор без смещения, положительные полупериоды сигнала «срезаются», отрицательные отпирают транзистор), управляет в итоге коллекторным током транзистора Т3. При сильном сигнале ток этот довольно большой.

Когда же при приближении человека к антенне частота генератора меняется и уходит от резонансной частоты трехконтурного фильтра, напряжение на выходе фильтра резко уменьшается (например, U_1 на частоте f_1). При этом уменьшается коллекторный ток Т3 и увеличивается напряжение на коллекторе (Т-149). К выходу можно подсоединить блок К-19;6 или К-19;7, который включит сигнальную лампочку или какой-либо иной сигнализирующий элемент.

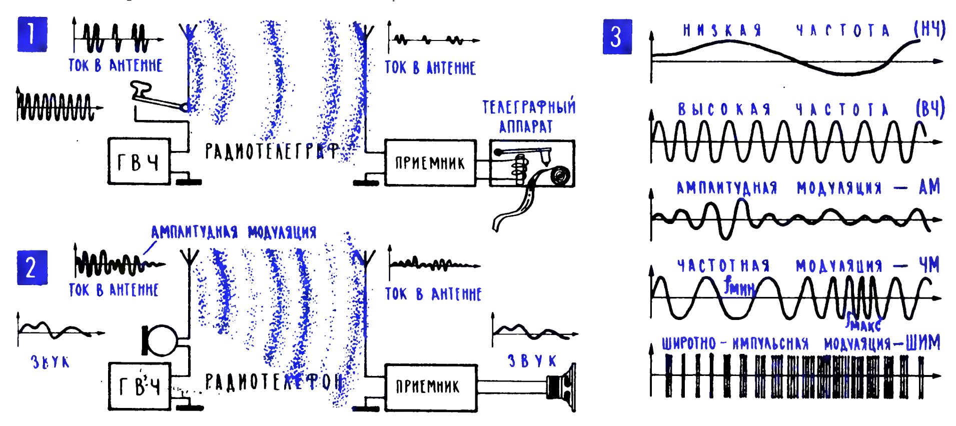
Т-204. Для эффективного излучения радиоволн нужен ток высокой частоты. Первое, что хочется сделать, так это построить простейшую линию радиотелефонной связи, включив в передающую антенну микрофон, а в приемную антенну — громкоговоритель (головной телефон). Расчет прост — микрофон переведет звук на электрический язык и создаст в передающей антенне меняющийся ток, который будет излучать радиоволны. Они в свою очередь наведут ток в приемной антенне, а громкоговоритель воспроизведет с его помощью звук, копию звука, услышанного микрофоном.

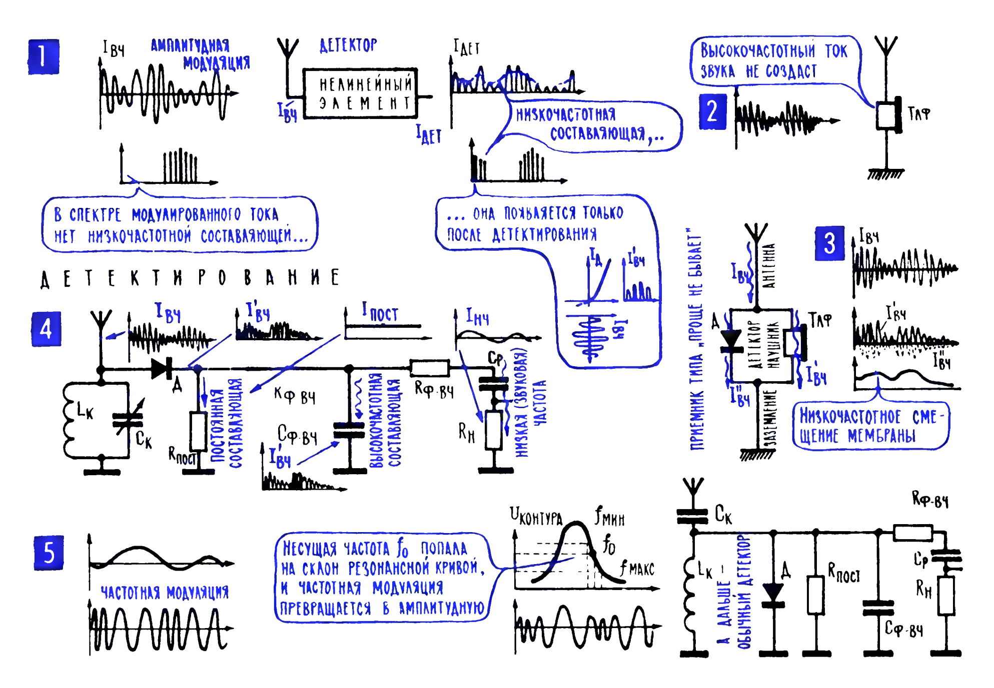
Несмотря на простоту и привлекательность такой системы, на практике она неприменима. И вот одна из причин. Чтобы передающая антенна эффективно излучала электромагнитные волны, эта антенна должна быть как можно выше, во всех случаях ее высота должна быть соизмерима с длиной волны (Р-117; 5). Это требование связано с самим механизмом излучения: трудно представить себе, чтобы громкоговоритель размером с булавочную головку эффективно излучал звук. Хорошо, если высота антенны равна половине λ, неплохо, если четверть. Можно смириться даже с тем, что высота антенны составляет несколько процентов от длины волны, хотя при этом мощность излучения составит чрезвычайно малую часть мощности переменного тока в передающей антенне. Теперь подсчитаем: даже на средней звуковой частоте 1000 *Гц* длина волны оказывается 300 *км* и, если смириться с тем, что высота антенны составляет всего 1% от λ (это очень плохо, но пусть хоть так), то понадобится антенна высотой 3 *км*. Построить такую высокую антенну непросто. А ведь нужно еще излучать и более низкие частоты, для которых антенну пришлось бы делать намного выше.

А вот другой серьезный недостаток: если одновременно будет работать несколько таких систем радиосвязи и в приемную антенну попадут все сигналы, то разделить их будет невозможно, слушатель получит невообразимую смесь голосов и мелодий.

Выход такой: создавать радиоволны нужно с помощью токов высокой частоты, а каждому передатчику разрешать работать только на одной, именно за ним закрепленной частоте. Во-первых, это позволит в приемнике с помощью резонансных фильтров (Т-86) отделять сигнал нужной станции от всех остальных (Р-117; 6). А во-вторых, для эффективного излучения высокочастотному току понадобятся уже сравнительно небольшие антенны. Так, например, частоте 150 *кГц*, одной из самых низких высоких частот, применяемых для радиовещания, соответствует длина волны 2 *км*. Высота антенны, если принять для нее 10% от длины волны, составит 200 *м*. А инженеры

Р-118





уже давно умеют строить передающие антенны высотой в несколько сот метров.

Правда, использование высокочастотных токов в линии беспроволочной связи создает новые проблемы — на передатчике нужно как-то записать информацию в высокочастотном токе, а в приемнике нужно эту информацию извлечь.

Т-205. Модуляция: изменяя тем или иным способом высокочастотный ток, записывают в нем информацию. Включив в передающую антенну телеграфный ключ, а в приемную — приемный телеграфный аппарат, можно создать линию беспроволочной радиотелеграфной связи (Р-118; 1). Именно это в конце прошлого века сделал изобретатель радио Александр Степанович Попов. Свои работы он так и называл — телеграфирование без проводов. Передавать по радио речь, то есть осуществлять телефонирование без проводов, научились значительно позже.

Чтобы записать в высокочастотном токе речь или музыку и таким образом заставить радиоволны переносить эту информацию к приемнику, можно просто включить угольный микрофон в антенну. Так же, как его включали в цепь постоянного тока (Р-69). Под действием звуковых волн сопротивление микрофона меняется, а значит, будет меняться и амплитуда высокочастотного тока, как в свое время менялся ток в линии телефонной связи (Т-111). Этот процесс называется амплитудной модуляцией. Высокочастотный ток, модулированный по амплитуде, излучает модулированные радиоволны — их интенсивность тоже меняется, повторяя все изменения звукового давления перед микрофоном. Модулированные радиоволны наводят в приемной антенне модулированный высокочастотный ток, а довольно простой электронный блок (заранее назовем его детектором) позволяет расшифровать этот ток (Р-119) и получить переменный ток низкой частоты, точную копию звука.

Амплитудная модуляция, сокращенно АМ,— это лишь один из способов зашифровывания информации в высокочастотном токе. Другой распростра-

ненный способ — частотная модуляция ЧМ (Р-118; 3). Здесь амплитуда высокочастотного тока остается неизменной, а под влиянием микрофона в сравнительно небольших пределах меняется сама частота переменного тока. Сделать это несложно: генератор высокочастотного тока в передатчике — это всегда ламповый или транзисторный генератор, частоту которого определяют параметры колебательного контура (Т-167). Существуют несложные схемы, которые под действием микрофонного тока в небольших пределах меняют емкость контура и таким образом осуществляют частотную модуляцию.

Передатчики многоканальных линий радиосвязи часто работают в импульсном режиме, это позволяет использовать много разных способов модуляции. Например, менять амплитуду импульса (амплитудно-импульсная модуляция, АИМ), ширину импульса (широтно-импульсная модуляция, ШИМ), время его появления (фазово-импульсная модуляция, ФИМ) или отображать изменения микрофонного тока в различных комбинациях импульсов (импульсно-кодовая модуляция, ИКМ). Естественно, что для всех этих способов модуляции существуют свои способы детектирования, извлечения информации из модулированного сигнала.

Т-206

Т-206. Детектирование: модулированный высокочастотный ток преобразуют таким образом, чтобы извлечь записанную в нем информацию. Слово «детектор» в переводе на русский означает «обнаружитель», оно происходит от того же корня, что и «детектив» — «сыщик». Прежде чем разбираться в том, как работает детектор, нужно убедиться в том, что он действительно нужен. А для этого достаточно включить громкоговоритель (головной телефон) прямо в антенну. Даже если передающая станция находится близко и в приемной антенне наводится достаточной силы высокочастотный сигнал, то с помощью одного только громкоговорителя все равно ничего услышать не удастся. Начнем с того, что подвижная система громкоговорителя (телефона) просто не будет поспевать за изменениями высокочастотного тока. А если бы она даже поспевала, то создавала бы неслышимые высокочастотные колебания воздуха, ультразвук. А нужно, чтобы звуковая катушка громкоговорителя или мембрана телефона двигались бы под действием низкочастотного тока, под действием электрической копии того самого звука, который слышал микрофон и который нужно воспроизвести в приемнике.

Не пытайтесь найти такой низкочастотный ток в приемной антенне, его там просто нет. В приемной антенне циркулирует только наведенный радиоволнами ток высокой частоты с изменяющейся, модулированной амплитудой. А для того чтобы получить низкочастотный ток, нужно прежде всего преобразовать спектр этого высокочастотного тока, пропустить его через нелинейный элемент. Только в результате нелинейных процессов в спектре могут появиться новые составляющие и, в частности, низкочастотный ток, который нам необходим (Р-119; 1).

Самый простой приемник из всех возможных показан на Р-119; 3. Телефон *Тлф* шунтирован полупроводниковым диодом *Д*, который закорачивает телефон, причем «через такт»,— во время одного полупериода сопротивление диода мало, во время следующего велико. И поэтому через телефон, так же как через диод, уже идет не переменный высокочастотный ток, а пульсирующий. А он, как всякий пульсирующий ток, состоит из двух составляющих — постоянной и переменной. Но постоянная составляющая будет постоянной только до тех пор, пока перед микрофоном тишина, пока нет модуляции. Как только начнется модуляция, начнет меняться и постоянная составляющая продетектированного сигнала, повторяя все изменения амплитуды высокочастотного тока. А эта амплитуда тем больше, чем больше в данный момент

микрофонный ток на той, на передающей стороне. А значит, постоянная составляющая будет повторять все изменения низкочастотного тока в цепи микрофона, все изменения звукового давления перед ним. Можно сказать так: постоянная составляющая продетектированного сигнала сама содержит две составляющие — истинно постоянную $I_{пост}$ и низкочастотную $I_{нч}$. А значит, весь продетектированный сигнал состоит из трех составляющих — $I_{вч}$, $I_{нч}$ и $I_{пост}$.

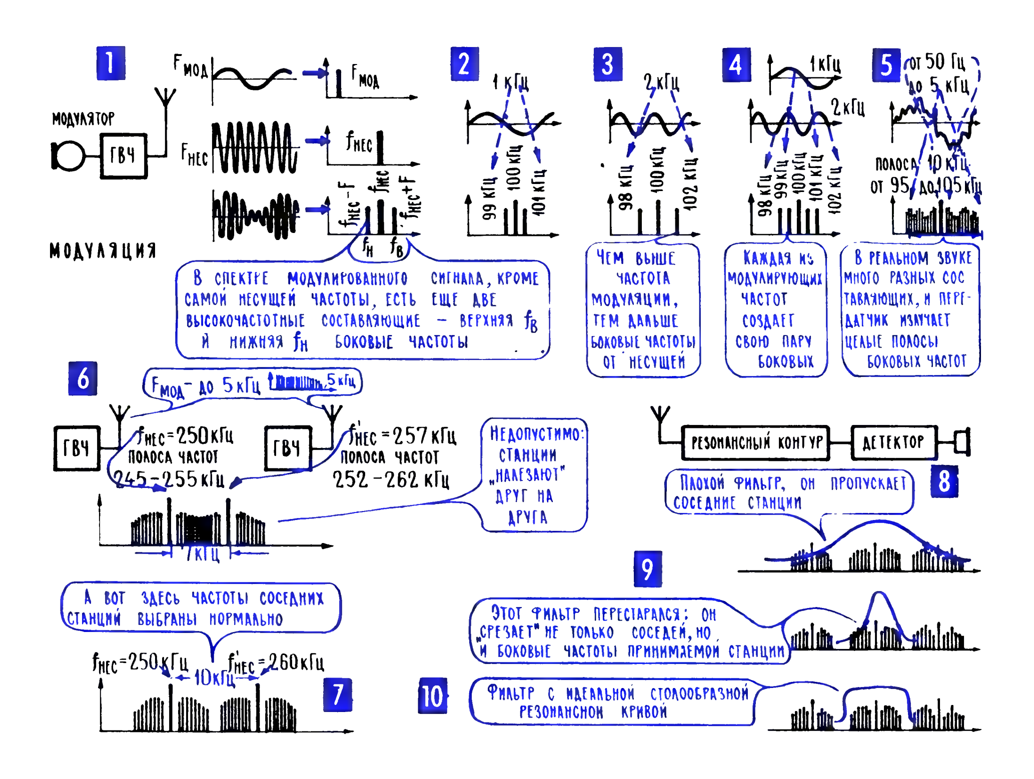
В простейшем приемнике Р-119; 3 сравнительно медленные, низкочастотные изменения тока заставят двигаться мембрану телефона, и она создаст звук. В большинстве же случаев детектор должен выделить низкочастотный электрический сигнал $I_{нч}$ в чистом виде и уже потом, как правило, после усиления, этот сигнал попадет на громкоговоритель. Поэтому в типичный детектор Р-119; 4, кроме диода, входят еще и разделительные фильтры. Конденсатор $C_{фвч}$ сразу же замыкает никому не нужную составляющую ВЧ (высокой частоты). Этому способствует резистор $R_{фвч}$, который не пускает ее дальше. Емкость $C_{фвч}$ сравнительно невелика — сотни, тысячи пикофарад, но этого вполне достаточно, чтобы создать легкий путь для ВЧ составляющей (на частоте 150 *кГц* конденсатор емкостью 0,01 *мкФ* = 10 000 *пФ* имеет сопротивление 100 *Ом;* С-7). Низкочастотную составляющую выделяет цепочка $C_р R_н$, в которой конденсатор имеет достаточно большую емкость и легко пропускает токи НЧ (низких частот).

Если к этой схеме добавить колебательный контур $L_к C_к$, несколько расстроенный по отношению к частоте принимаемой станции, то получится частотный детектор Р-119; 5. Введем обозначения: без модуляции частота сигнала — $f_о$, а при модуляции она меняется от $f_{мин}$ до $f_{макс}$. По мере того как частота сигнала приближается к резонансной частоте контура $f_{рез}$ или удаляется от нее, меняется напряжение на элементах контура (Т-84), и в итоге ЧМ превращается в АМ. А дальше АМ детектор делает свое обычное дело — превращает переменный ток ВЧ в пульсирующий и из него уже выделяет низкочастотную составляющую.

Основная профессия колебательного контура, основная его работа в радиоприемнике — выделение сигнала принимаемой станции из бессчетного множества сигналов, наведенных в приемной антенне радиоволнами разных радиостанций (Р-117; 6). Чтобы познакомиться с этой деятельностью контура, нужны некоторые дополнительные сведения.

Т-207. В спектр модулированного сигнала входят составляющие несущей частоты и двух боковых частот (частотных полос). Пока нет модуляции, ток в передающей антенне — чисто синусоидальный ток. Но как только начнется модуляция, он уже перестает быть синусоидой в результате медленного изменения амплитуды (в процессе модуляции) высокочастотного тока, форма его несколько искажается. Короче говоря, модуляция есть процесс нелинейный, и в спектре модулированного сигнала появляются новые составляющие (Т-117). Математический анализ и точные измерения показали, что эти составляющие появляются обязательно парами и что их частоты чуть выше и чуть ниже основной, или, как ее называют, несущей, частоты $f_{нес}$. При этом верхняя боковая частота $f_в$ и нижняя боковая частота $f_н$ отличаются от несущей ровно на частоту модуляции F (Р-120). Модуляция — это частный случай нелинейного преобразования двух сигналов, при котором появляются составляющие суммарной и разностной частоты (Т-182).

Две боковые составляющие с частотами $f_в$ и $f_н$ появляются в том случае, когда высокочастотный ток модулируется одним чисто синусоидальным низкочастотным сигналом. Если же таких модулирующих сигналов несколько, то



каждый из них создаст свою пару боковых частот (Р-120; 4). Реальный звуковой сигнал состоит из большого числа синусоидальных составляющих (Т-100), и при модуляции появляются целые полосы боковых частот (Р-120; 5). Причем граничные боковые частоты — самая низкая из низших $f_{н\,мин}$ и самая высокая из верхних $f_{в\,макс}$ определяются высшей модулирующей частотой $f_{макс}$. Так, например, если несущая частота 100 *кГц*, а низкочастотный модулирующий сигнал имеет спектр от 200 *Гц* до 3 *кГц* (спектр речи), то получается: $f_{в\,макс}$ — 103 *кГц* и $f_{н\,мин}$ — 97 *кГц*. А если ту же несущую модулировать сигналом, спектр которого 50 *Гц* — 10 *кГц* (спектр музыки), то получаются уже такие граничные боковые частоты — верхняя $f_{в\,макс} = 110$ *кГц* и нижняя $f_{н\,мин} = 90$ *кГц*.

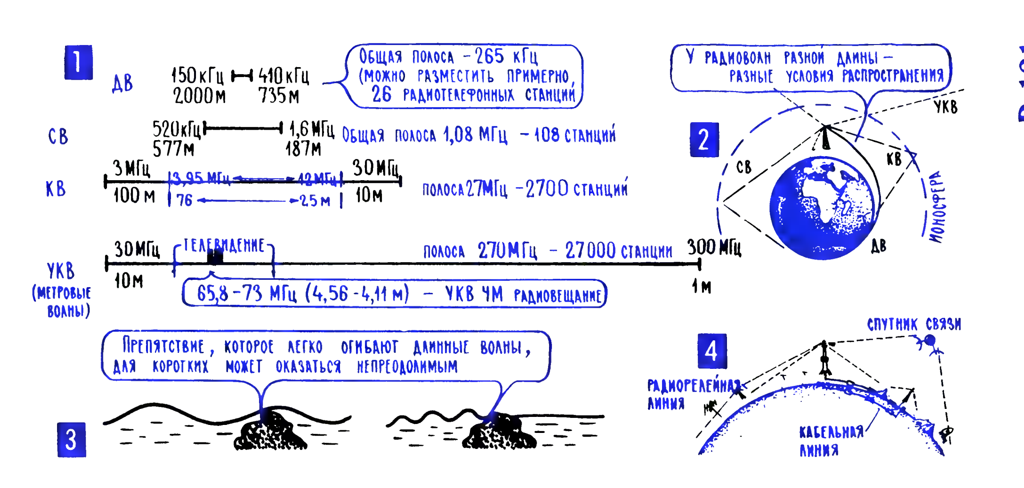
Эти числовые примеры помогают сделать важный вывод: передатчик излучает не одну частоту, а целую полосу частот ΔF, и ширина этой полосы частот зависит от того, каким сигналом модулирован высокочастотный ток: она равна удвоенной наивысшей частоте модуляции $F_{макс}$. В частности, при передаче речи (первый пример, полоса $\Delta F = 6$ *кГц*) передатчик излучает более узкую полосу частот, чем при передаче музыки (второй пример, полоса $\Delta F = 20$ *кГц*). Все это значит, что фильтр, который будет выделять нужную станцию, должен пропустить к детектору не только несущую частоту, но и все боковые частоты, весь спектр модулированного сигнала, всю полосу частот, излучаемых передатчиком (Р-120; 9, 10). И еще один вывод: нельзя назначать радиостанциям очень близкие рабочие частоты, нужно раздвигать несущие частоты так, чтобы спектр одного передатчика не налезал на спектр другого (Р-120; 6, 7). Именно поэтому на некоторых диапазонах, не мешая друг другу, может работать очень много станций, а на других диапазонах мало.

Т-208. У длинных, средних, коротких и ультракоротких радиоволн свои особенности распространения и различные «частотные территории». Все высокочастотные токи, используемые для радиосвязи, радиовещания, телевидения, радиолокации и других целей, принято делить на несколько участков, диапазонов. Такое деление на диапазоны, в частности, связано с тем, что радиоволны разной длины по-разному проходят путь от передатчика к приемнику.

Границы между диапазонами весьма расплывчаты, бывает, что разные специалисты по-разному определяют граничные частоты. Но границы частотных участков, которые отводятся для радиовещательных станций, установлены очень точно. Всего таких участков выделено четыре, и названы они диапазонами длинных волн ДВ, средних волн СВ, коротких волн КВ и ультракоротких волн УКВ (Р-121; 1). Коротковолновых участков, на которых работают радиовещательные станции, несколько, и их называют по средней длине волны — «диапазон 25 метров» или «25-метровый диапазон», «диапазон 41 метр» или «41-метровый диапазон» и так далее.

Условия распространения радиоволн разной длины различны. Это связано с тем, что волны разной длины неодинаково реагируют на препятствия, которые встречаются на их пути, неодинаково отражаются от одних и тех же «зеркал». Влияние длины волны на характер взаимодействий с внешним миром — характерная черта любых волновых процессов. Так, например, мелкие волны, рябь на воде, разрушаются, наткнувшись на небольшой камешек, а длинная, большая волна огибает его совершенно незаметно. Или другой пример: световые волны почти полностью отражаются от человеческого тела или поглощаются в нем, а волны более короткие, рентгеновские лучи, пронизывают его почти беспрепятственно, проходят насквозь, лишь слегка поглощаясь в сравнительно плотных тканях.

Длинные радиоволны лучше всех других распространяются над земной поверхностью, легко огибают большие препятствия в виде оврагов и гор, огибают и сам земной шар (Р-121; 2), подобно тому как большая морская волна перекатывается через мелкую скалу (Р-131; 3). Поэтому в любое время дня и ночи длинноволновые станции можно услышать на очень больших расстояниях, если только быстро ослабевающие радиоволны доносят к приемной антенне достаточно энергии. Вдоль земной поверхности распространяются и все остальные радиоволны — средние, короткие и УКВ, но с ростом частоты сама земля все сильнее поглощает их энергию. И к тому же эти



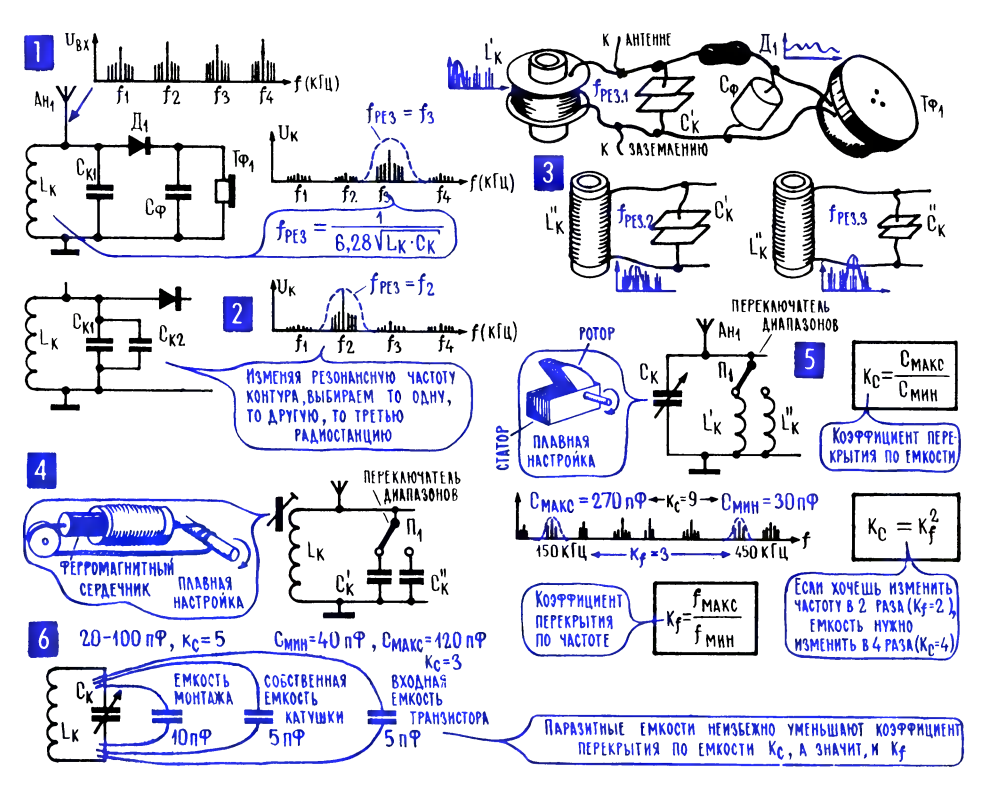
волны, особенно короткие и УКВ, уже не огибают Землю и почти не проходят за линию горизонта.

Но почему же тогда, спросит наблюдательный читатель, мы слышим далекие средневолновые и коротковолновые станции? Только потому, что их радиоволны приходят к приемнику, отразившись от огромного зеркала, которое находится над землей. Это зеркало — ионосфера, ионизированные слои атмосферы, где под действием солнечных лучей нейтральные атомы газов превращаются в ионы (Т-19). И хоть мала плотность ионов в этих ионизированных слоях, радиоволны все же отражаются от них, как от металлических предметов. В разное время суток и в разное время года из-за изменения солнечной активности плотность различных слоев ионосферы меняется, и поэтому меняются условия отражения и распространения радиоволн. Средние волны, например, днем вообще от ионосферы не отражаются, и поэтому дальние средневолновые станции слышны только с наступлением темноты. Плохо слышны днем станции и на коротковолновых диапазонах 41 *м* и 49 *м*, а станции диапазонов 25 *м* и 19 *м*, наоборот, лучше слышны днем.

А ультракороткие волны, как правило, вообще не отражаются от ионизированных слоев ионосферы, они протыкают ее и уходят в космическое пространство. Поэтому на УКВ слышны только очень близкие радиостанции, те, что находятся на расстоянии прямой видимости, и радиоволны которых добираются от передатчика к приемнику над землей (Р-121; 4). В последнее время, правда, человек перехитрил природу, научился передавать УКВ на очень большие расстояния. Делается это с помощью цепочки приемопередающих радиостанций или с помощью искусственного спутника Земли, который можно было бы назвать активным зеркалом — электронная аппаратура на спутнике принимает сигнал земной УКВ станции, усиливает его, а затем излучает обратно на Землю.

На разных диапазонах может работать, не мешая друг другу, разное количество станций. Чтобы боковые частоты соседних станций не налезали друг на друга, между несущими частотами устанавливают интервал 10 *кГц*, и при этом оказывается, что на ДВ диапазоне может уместиться не больше 26 станций, на СВ — 108, на каждом из коротковолновых радиовещательных участков по 25—30, в диапазоне УКВ — 360 станций. Общая ситуация такая: с укорочением волны «частотная территория» становится больше. Так, например, на всем коротковолновом диапазоне, на волнах от 10 *м* до 100 *м*, можно было бы разместить в двадцать раз больше станций, чем на длинных и средних, вместе взятых. А на сантиметровых волнах (длина волны от 1 *см* до 10 *см*, граничные частоты, соответственно, 30 000 *МГц* — 3000 *МГц*) разместилось бы около трех миллионов станций с полосой 10 *кГц*. Этому не нужно искать каких-то сложных объяснений: просто чем короче волна, тем более высокая частота ей соответствует и тем меньше оказывается в сравнении с ней «порция», которая нужна одной станции. Если из булочки можно нарезать десяток бутербродов, то из большого каравая размером с диван таких же бутербродов может получиться несколько тысяч.

Т-209 **Т-209. Радиопередатчики работают на разных частотах, колебательный контур приемника старается выделить сигналы одной частоты из всех действующих в приемной антенне.** На рисунке Р-122; 1 показан простейший детекторный приемник с колебательным контуром, включенным прямо в приемную антенну. Здесь антенна — генератор, контур с детектором — нагрузка. На резонансной частоте сопротивление контура резко возрастает (Т-85), и при этом возрастает напряжение в нем и мощность, которую контур отбирает у приемной антенны и передает детектору. А это значит, что для одной станции,



частота которой равна резонансной частоте контура, создаются особо благоприятные условия, контур старается поднять уровень сигналов этой принимаемой станции над всеми остальными. Насколько это ему удается, выясним чуть позже (Т-201, Т-202), пока несколько слов о том, как перестраивать контур с одной станции на другую.

Т-210. Плавная перестройка контура обычно осуществляется конденсатором переменной емкости, переход с диапазона на диапазон — переключением катушек. Чтобы перейти от приема одной станции к другой, нужно просто изменить резонансную частоту контура (Р-122; 2), изменив для этого его индуктивность $L_к$ или емкость $C_к$ (Т-166; нужно обязательно повторить этот раздел, начиная знакомиться с радиоприемником). Чаще всего плавную настройку производят конденсатором переменной емкости, сокращенно КПЕ (Р-122; 5), хотя в некоторых случаях плавно меняют индуктивность катушки, перемещая в ней ферромагнитный сердечник: чем глубже такой сердечник вдвинут в катушку, тем больше ее индуктивность (Р-122; 4). В конденсаторе переменной емкости две группы соединенных параллельно пластин — неподвижный статор и поворачивающийся ротор. По мере того как роторные пластины входят в промежутки между статорными, становится больше «работающая» площадь пластин и увеличивается емкость конденсатора (Т-43. Т-44).

Чем в большей степени меняется емкость конденсатора, тем больше меняется и резонансная частота контура. К этому очевидному факту нужно сделать несколько примечаний.

Наибольшей емкости, которую обозначают $C_{макс}$, соответствует самая низкая из резонансных частот $F_{мин}$ (самая длинная волна), а самой малой

емкости $C_{мин}$ соответствует самая высокая частота $F_{макс}$ (самая короткая волна). Число, которое показывает, во сколько раз меняется емкость, называют коэффициентом перекрытия по емкости κ_c, а число, показывающее, во сколько раз при этом меняется частота,— коэффициентом перекрытия по частоте κf (Р-122; 5). В известной формуле для резонансной частоты (Р-58) емкость контура, как и индуктивность $L_к$, находится под корнем, и поэтому изменение емкости не очень-то сильно влияет на частоту. Например, если при полном повороте ротора емкость возрастает в девять раз ($\kappa_c = 9$), то резонансная частота уменьшается всего в три раза ($\kappa_f = 3$), а чтобы уменьшить резонансную частоту в два раза ($\kappa_f = 2$), емкость нужно увеличить в четыре раза ($\kappa_c = 4$).

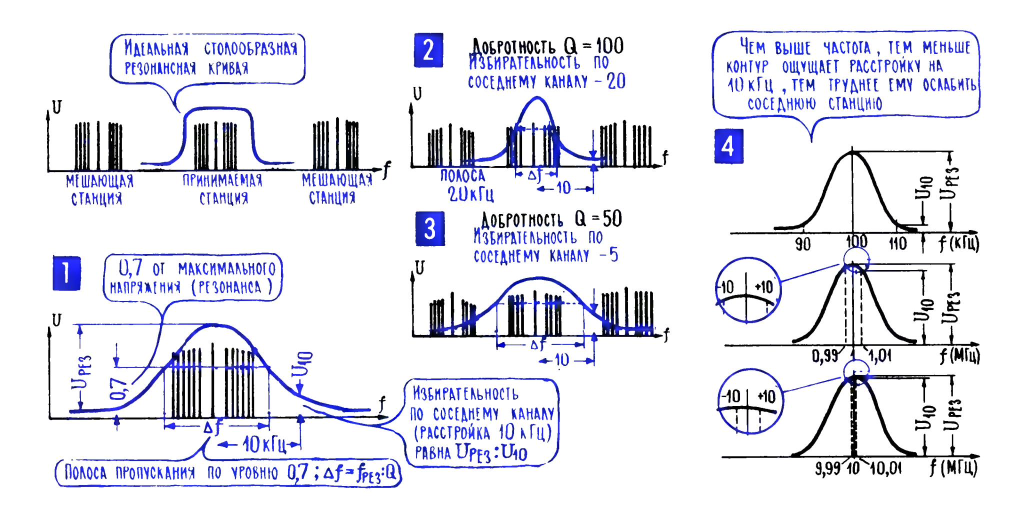
У каждого типа КПЕ своя минимальная и максимальная емкость, свой коэффициент перекрытия κ_c. Однако в реальной схеме использовать его полностью не удается. Потому что параллельно конденсатору подключены разные паразитные емкости, которые увеличивают начальную емкость $C_{мин}$ и тем самым сильно уменьшают κ_c (Р-122; 6).

Простая логика подсказывает: если желательно с помощью КПЕ перекрыть частотный участок побольше, то нужно по возможности уменьшать собственную паразитную емкость контура. А если хочется, чтобы поворот ротора не так резко менял частоту (с такими задачами мы встретимся в Т-224 и Т-225), то нужно, наоборот, вместе с КПЕ включать в контур конденсаторы постоянной емкости, которые, увеличивая $C_{мин}$ или уменьшая $C_{макс}$, ослабляли бы влияние конденсатора настройки на резонансную частоту.

С помощью КПЕ плавно перестраивают контур в пределах диапазона. Для перехода с диапазона на диапазон заменяют контурные катушки, переключают их или замыкают накоротко часть катушки, уменьшая тем самым ее индуктивность (Р-122; 5). Ясно, что для перехода на более коротковолновый диапазон, то есть на диапазон с более высокими частотами, индуктивность контура нужно уменьшать. Поэтому в катушках диапазона ДВ могут быть сотни витков, СВ — десятки, КВ — всего несколько витков. И индуктивность катушек для радиовещательных диапазонов при разных типах КПЕ приводится в С-18. Там также указаны числа витков, необходимые для получения расчетной индуктивности. При налаживании приемника индуктивность контура подгоняют с помощью сердечника или, если его нет, сближая либо раздвигая витки.

Т-211

Т-211. Основные характеристики контура — избирательность и полоса пропускания. Идеальная резонансная кривая должна, как говорят радисты, иметь столообразную форму (Р-123; 1). Это значит, что контур должен одинаково хорошо пропускать к детектору все боковые частоты своего модулированного сигнала, все, что излучает принимаемая станция. И совсем не должен пропускать к детектору посторонние частоты. Резонансная кривая реального одиночного контура весьма далека от идеала, контур и свои частоты пропускает неодинаково хорошо, и соседние, мешающие, ослабляет не до конца (Р-123; 1). И чтобы оценить деятельность реального контура, вводят две характеристики — полосу пропускания и избирательность. Первая из них предполагает, что если контур ослабляет какую-нибудь составляющую в 1,4 раза или, иначе, до уровня 0,7 от максимума (на 6 *дБ*), то это не страшно и можно считать, что контур эту составляющую пропускает. Предположим, что на резонансной частоте 200 *кГц* напряжение на контуре 10 *В* и что оно падает до 7 *В* (уровень 0,7 от 10 *В*) по мере удаления от резонанса на 15 *кГц* в ту или другую сторону. В этом случае мы говорим, что полоса пропускания 30 *кГц* — от 185 до 215 *кГц*.



А избирательность указывает, насколько хорошо контур справляется с обязанностями резонансного фильтра — во сколько раз или на сколько децибел он ослабляет сигналы мешающих станций. Самая опасная — соседняя станция, и именно для нее определяется самая важная характеристика контура — избирательность по соседнему каналу. Определяют ее так: подводят к контуру сигнал с частотой принимаемой станции, на которую этот контур настроен точно в резонанс. А затем подводят к контуру такой же по уровню сигнал, отличающийся от принимаемого на 10 *кГц,* то есть с частотой соседней мешающей станции. И сравнивают напряжения, которые получаются на контуре в первом и втором случаях. Число, которое показывает, во сколько раз первое напряжение (принимаемая станция) больше, чем второе (соседняя станция), как раз и есть избирательность по соседнему каналу.

Т-212. Избирательность контура тем лучше, чем выше его добротность. Обе характеристики контура — полоса пропускания и избирательность — зависят от добротности контура Q. Чем выше добротность, тем лучше избирательность и тем у́же полоса пропускания, так как с увеличением добротности усиливаются резонансные явления в контуре, бо́льшую роль играют реактивные сопротивления x_L и x_C, которые меняются с частотой, и меньше влияет активное сопротивление $R_к$, которое старается, чтобы контур на все частоты реагировал одинаково. Это хорошо видно и по частотной характеристике контура: чем больше Q, тем острее и выше резонансная кривая (Р-123; 2, 3).

Есть еще одна зависимость, очень важная и очень неприятная. Полоса пропускания и избирательность по соседнему каналу зависят не только от добротности. Они зависят еще и от того, насколько велика сама резонансная частота.

Т-213. С увеличением резонансной частоты избирательность по соседнему каналу ухудшается, а полоса пропускания расширяется. В науке и технике, в самой жизни часто сталкиваются два вида оценок — абсолютная и относительная. Не будем далеко ходить за примером — полтинник, который нужно заплатить за билет в кино, кажется относительно большой суммой мальчику, имеющему в кармане 80 копеек, и представляется мелочью взрослому, в кошельке которого 30 рублей. Другой пример, он касается уже непосредственно нашего предмета. У колебательного контура с добротностью $Q = 100$ полоса пропускания составляет 1% от резонансной частоты, и эта относительная оценка сохраняется на всех частотах. И вот у такого контура, настроен-

Р-123 Т-212 Т-213

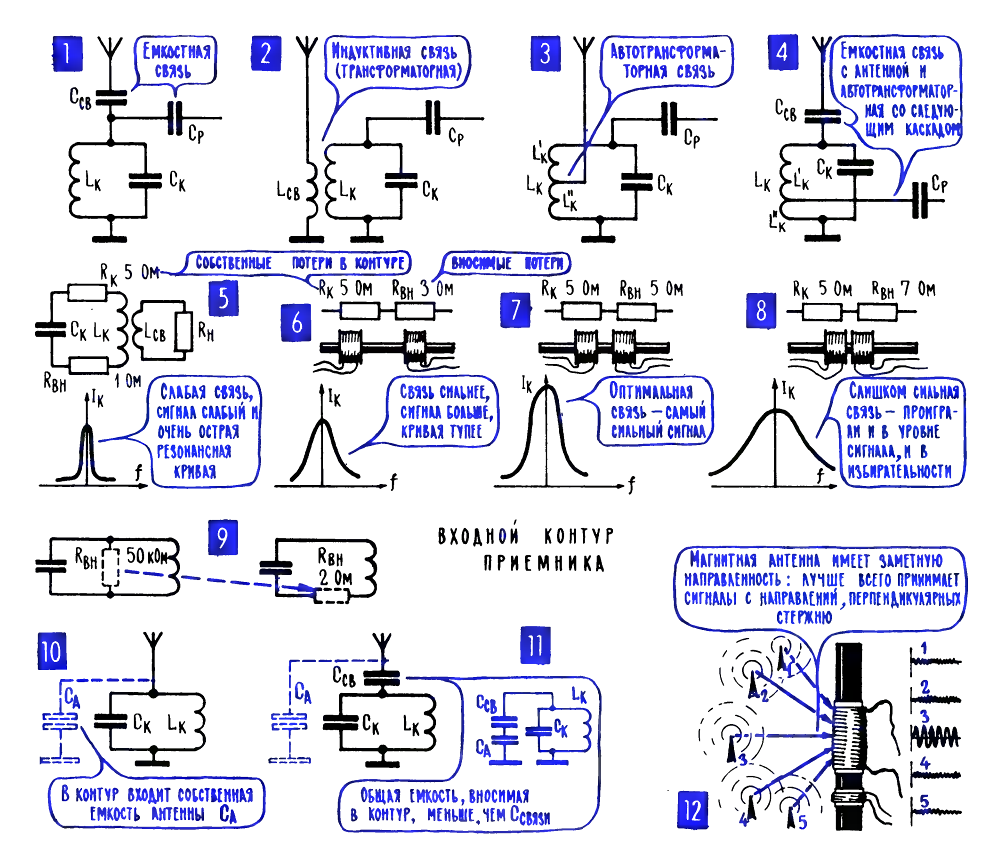
ного на частоту 150 *кГц* (начало длинноволнового диапазона), этот один процент составит 1,5 *кГц,* а на частоте 12,5 *МГц* (коротковолновый участок «25 м») он уже будет 125 *кГц*. И еще: контуру, настроенному на 100 *кГц,* намного проще подавить соседнюю станцию, чем контуру, настроенному на 10 *МГц*. И в том, и в другом случае соседняя станция отстоит от принимаемой на 10 *кГц* по абсолютной величине. Но в первом случае это относительно большая расстройка, примерно на 10%, а во втором случае расстройка относительно невелика, всего десятая доля процента. Контур и не почувствует, что частота изменилась на такую относительно небольшую величину. Одним словом, деятельность контура определяется относительным изменением частоты, изменением «на столько-то процентов в сравнении с резонансной частотой». А нас интересует ослабление сигнала при абсолютной расстройке на 10 *кГц* (Р-123; 4).

Тщательный анализ приводит к малоприятным выводам. Один контур даже с хорошей добротностью ($Q = 50 - 100$) на длинных волнах ослабляет сигнал соседней станции по сравнению с принимаемой в восемь — десять раз, на средних — в два — четыре раза, а на коротких волнах — всего на несколько тысячных долей процента. То есть на коротких волнах у контура вообще нет никакой избирательности, а на длинных и особенно на средних волнах избирательность явно мала. Поэтому прием коротковолновых станций отложим, как говорится, до лучших времен (Т-219), а от средневолнового и длинноволнового приемника с одним контуром не будем требовать особой избирательности.

Есть, правда, во всей этой невеселой истории одно утешительное обстоятельство. Рабочие частоты передатчикам назначают с очень точным и тонким расчетом. Учитывается и мощность передатчика, и место его расположения, и участок диапазона, где он работает, особенности распространения радиоволн. Стараются, чтобы свои, местные радиостанции, которые особенно хорошо слышны в данном районе, не работали на очень близких частотах. А чем дальше по частоте отстоят друг от друга станции, тем проще контуру отделить их сигналы. И в итоге даже очень простой приемник с одним колебательным контуром удовлетворительно работает на средних и особенно на длинных волнах, неплохо принимает местные станции. Но конечно, выделить сигналы далеких станций, если на близкой частоте работает мощная местная станция, такой приемник не может.

Т-214. Чтобы не ухудшать добротность контура, приходится ослаблять его связь с источником энергии и ее потребителем. Колебательный контур — основной элемент входной цепи приемника, в которую входят еще элементы связи контура с антенной и с последующими цепями, например с детектором. Передача энергии в контур и из него может осуществляться по-разному: через конденсатор (емкостная связь, Р-124; 1), с помощью отдельной катушки связи (индуктивная или трансформаторная связь, Р-124; 2), через отводы от контурной катушки (автотрансформаторная связь, Р-124; 3). В одной схеме могут быть разные виды связи с антенной и детектором (Р-124; 4). Различной может быть и степень связи. В частности, связь с антенной или с детектором усиливается, если увеличить емкость конденсатора связи $C_{св}$, сближать катушки $L_{св}$ и $L_к$ или увеличивать число витков в секции $L''_к$.

На первый взгляд может показаться, что чем сильней связь антенны с контуром или контура с детектором, тем лучше — больше энергии передается из одной цепи в другую. Но, подбирая связь между элементами входной цепи, нельзя забывать о добротности контура Q: она очень сильно влияет и на его избирательность, и на уровень сигнала, который снимается с контура.



Дело в том, что в контур входит не только его собственное сопротивление $R_к$, но еще и вносимое сопротивление $R_{вн}$, которое напоминает, что какая-то часть энергии у контура отбирается (Р-124; 5). И чем больше отбираемая энергия, тем больше вносимое сопротивление и тем, следовательно, меньше добротность контура. Вот почему, например, нельзя устанавливать слишком сильную связь контура с детектором (Р-124; 8), пытаясь отобрать у контура и передать дальше как можно больше энергии. Связь подбирают с таким расчетом, чтобы достаточно много выиграть и не очень много проиграть. Чаще всего устанавливают оптимальную связь (Р-124; 7), при которой $R_к = R_{вн}$ и контур передает дальше максимум той мощности, которую он может передать (Т-185). Но бывает, что связь выгодно сделать меньше оптимальной, проиграв в уровне сигнала, но зато выиграв в добротности, в избирательности (Р-124; 5).

Существуют определенные ограничения для выбора степени связи с антенной. В частности, нужно, чтобы собственная емкость антенны $C_а$, которая может достигать нескольких сот пикофарад, в минимальной степени входила в контур (Р-124; 10, 11). В случае емкостной связи с антенной емкость $C_{св}$ выбирают очень небольшой — 20 — 50 *пФ*. При этом к контуру подключена цепочка из последовательно соединенных $C_{св}$ и $C_а$, а в такой последовательной цепочке общая емкость меньше наименьшей (Р-52; 6).

Т-215. Во входном контуре в качестве катушки индуктивности может использоваться магнитная антенна. Долгое время антенной приемников был одиночный провод, по возможности высоко поднятый. Ток в такой антенне в ос- Т-215

новном наводит электрическая составляющая электромагнитной волны. Чтобы заставить эффективно работать ее магнитную составляющую, стали применять рамочные антенны — катушки больших размеров. Если вставить в катушку ферромагнитный сердечник с высокой магнитной проницаемостью, то эффективность антенны-катушки резко повышается и можно заметно уменьшить ее размеры. Вот такая катушка, намотанная на ферромагнитном сердечнике, и называется магнитной антенной (Р-124; 12).

В большинстве случаев магнитная антенна одновременно выполняет роль индуктивности входного контура — прямо к ней подключается конденсатор настройки, и если нужно менять индуктивность, то переключают обмотки магнитной антенны (К-8).

На резонансной частоте в цепи магнитной антенны резко возрастает ток, потому что сопротивление последовательной *LCR*-цепи на резонансной частоте оказывается минимальным (Т-84). И на резонансной частоте магнитная антенна передает наибольшую энергию в катушку связи $L_{св}$, а через нее и дальше, к детектору. Число витков в катушке связи очень небольшое, и получается, что из магнитной антенны сигнал передается детектору через понижающий трансформатор. При этом в контур вносится очень небольшое сопротивление, и его высокая природная добротность почти не ухудшается. Хотя, конечно, из-за слабой связи в уровне сигнала мы проигрываем. Но проиграть в уровне сигнала не так-то страшно: имея транзисторы и лампы, сигнал всегда можно усилить. Кроме того, магнитная антенна дает свой особый выигрыш — она имеет определенную направленность, с некоторых направлений хорошо принимает сигнал, а с других во много раз хуже.

Т-216

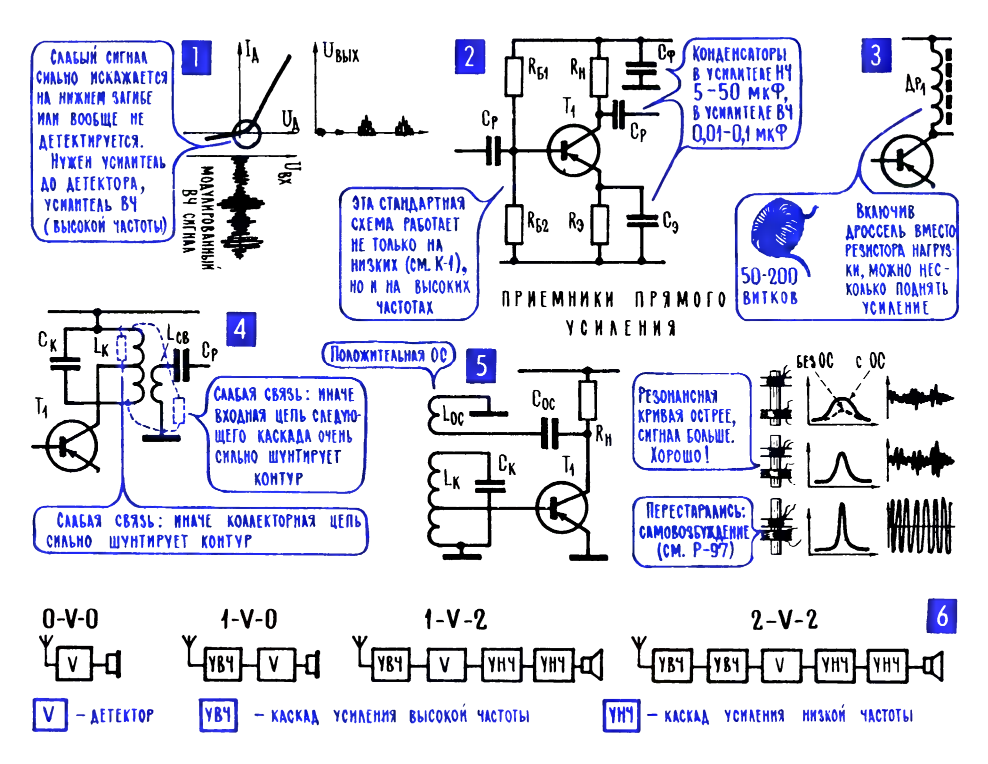
Т-216. В приемниках прямого усиления до детектора имеются усилители высокой частоты, а после детектора — усилители низкой частоты. Детекторный приемник создает звук только за счет той энергии, которую отдали антенне радиоволны, и поэтому работает более или менее громко только в непосредственной близости от мощных радиостанций. Повысить громкость приема можно, сделав более высокую антенну и заземление, которое при приеме длинноволновых и средневолновых станций всегда дает заметный эффект. Но, конечно, по-настоящему поднять громкость звучания детекторного приемника способен только усилитель низкой частоты.

В принципе это может быть любой усилитель с достаточно высокой чувствительностью и желательно высоким входным сопротивлением. Входное сопротивление усилителя, который, по сути, подключен параллельно к детектору, войдет в общее сопротивление всей детекторной цепи: это сопротивление вносится во входной контур. Детекторная цепь отбирает у контура часть энергии, то есть вносит в него последовательное сопротивление $R_{вн}$, и чем больше это вносимое сопротивление, тем хуже для контура, тем ниже его добротность (Р-124).

Не следует думать, что, повышая чувствительность усилителя НЧ, можно принимать сколь угодно слабые сигналы. Практически детекторный приемник с усилителем НЧ хорошо принимает только те станции, которые создают на входе детектора напряжение в несколько десятых долей вольта. Более слабые сигналы детектор детектирует плохо, они попадают на участок загиба вольт-амперной характеристики диода, на «ступеньку», и создают очень небольшой пульсирующий ток, низкочастотная составляющая которого сильно искажена (Р-125; 1).

Чтобы принимать более слабые станции, нужно усиливать сигнал до детектора, используя усилители высокой частоты.

По самой своей сути усилители ВЧ мало отличаются от усилителей НЧ.



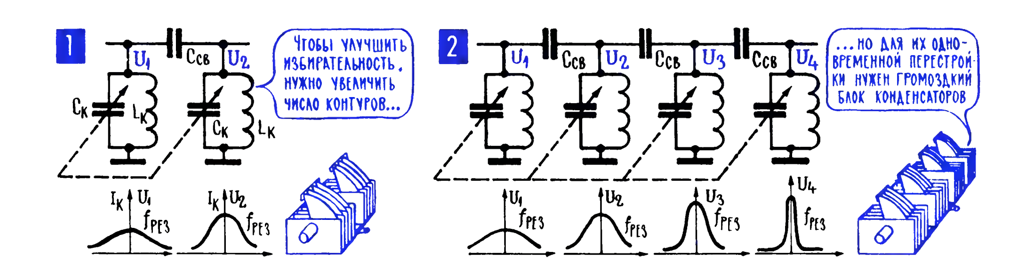
Те же цепи питания, смещения на базу, те же схемы температурной стабилизации. Первые бросающиеся в глаза отличия — это меньшие емкости конденсаторов межкаскадной связи и фильтров (Р-125; 2): на высоких частотах даже конденсаторы сравнительно небольшой емкости имеют достаточно малое сопротивление (С-7). В усилителях ВЧ в качестве нагрузки довольно часто можно встретить высокочастотный дроссель (Р-125; 3) или колебательный контур, слабо связанный с коллекторной цепью и особенно с базовой цепью следующего каскада (Р-125; 4). Необходимость ослабления связи все та же — выходное сопротивление транзистора и особенно низкое входное сопротивление следующего каскада могут сильно испортить добротность контура.

Не всегда транзисторы, пригодные для усилителей НЧ, подходят для усилителей ВЧ. Здесь все зависит от того, какие частоты может усиливать транзистор и какие нужно усиливать в приемнике (С-15).

К важным различиям между усилителями ВЧ и НЧ нужно прежде всего отнести то, что высокочастотные усилители больше склонны к самовозбуждению. С увеличением частоты легче возникают паразитные обратные связи между входными и выходными цепями усилительного каскада, например, через общие цепи питания или «по воздуху», из-за наводок с одних проводов на другие, или через магнитные поля катушек (Р-116; 1). По этой причине входные и выходные цепи каскада стараются не располагать слишком близко, а иногда некоторые их элементы, например колебательные контуры, помещают в экран.

Правда, в некоторых случаях в усилителях ВЧ умышленно вводят положительную обратную связь: она позволяет уменьшить собственное сопротивление контура и поднять его добротность (Р-125; 5). Обратную связь де-

Р-126



лают регулируемой с тем, чтобы ее можно было увеличивать, но не доходить до порога генерации.

Приемники, в которых имеется усилитель ВЧ, детектор и усилитель НЧ, называют приемниками прямого усиления. С давних времен существует сокращенное обозначение схем таких приемников — детектор обозначается латинской буквой V, цифра перед этой буквой указывает число каскадов усилителя ВЧ, цифра после буквы V — число каскадов усилителя НЧ (Р-125; 6). Так, например, обозначение 2—V—3 соответствует такой схеме приемника: два каскада усиления высокой частоты, детектор и три каскада усиления низкой частоты.

В самом общем виде можно сказать, что чем больше усилительных каскадов в приемнике, чем больше общее усиление, тем выше чувствительность. Эта бесспорная, казалось бы, истина требует, однако, несколько важных пояснений и дополнений.

Т-217

Т-217. Чувствительность приемника указывает самые слабые сигналы, которые он еще может нормально принимать. Прежде чем ввести характеристику «чувствительность приемника», нужно договориться, какими цифрами будет подкреплена оценка «станция слышна». Конечно, хорошо, если уровень принимаемого сигнала позволяет усилителю НЧ работать с его максимальной мощностью. Если сигнал сильнее, тоже неплохо, его всегда можно ослабить регулятором громкости, чтобы усилитель НЧ не заходил в область искажений. А вот если сигнал слабее, то этого уже ничем не исправишь, выходная мощность усилителя, а значит, и громкость звучания, будет меньше максимальной. И чем слабее принимаемый сигнал, тем тише звучит приемник.

До каких пор можно мириться с уменьшением громкости? Где та граница, после которой принимаемой станции будет поставлена оценка «слишком тихо»? Договорились, что допустимая граница проходит там, где выходная мощность становится в десять раз меньше максимальной. Если приемник, принимая слабую станцию, дает такую, как ее называют, нормальную мощность, то считается, что станция еще слышна. А напряжение на входе приемника, соответствующее нормальной выходной мощности (10% от максимальной),— это как раз и есть чувствительность приемника. Чем меньше это напряжение, тем, значит, более слабые сигналы может нормально принимать приемник, тем лучше его чувствительность. Так, например, если мы говорим, что чувствительность 100 *мкВ*, то это значит, что приемник нормально работает при входном сигнале 100 *мкВ*, а если чувствительность 200 *мкВ*, то, значит, на вход приемника для нормальной его работы нужно подать в два раза более сильный сигнал, то есть чувствительность приемника в два раза хуже. Для приемников с магнитной антенной указывают напряженность поля (в милливольтах на метр), необходимую для нормальной работы.

Т-218

Т-218. В приемниках прямого усиления трудно, а на коротких волнах невозможно получить хорошую избирательность. Увеличивая число усилительных

каскадов, можно было бы построить приемник с весьма высокой чувствительностью, хотя, конечно, с повышением частоты принимаемого сигнала эта задача осложняется (Т-216). И совсем уже трудно с повышением принимаемой частоты обеспечить хорошую избирательность приемника. А на коротких волнах добиться хорошей избирательности практически вообще невозможно.

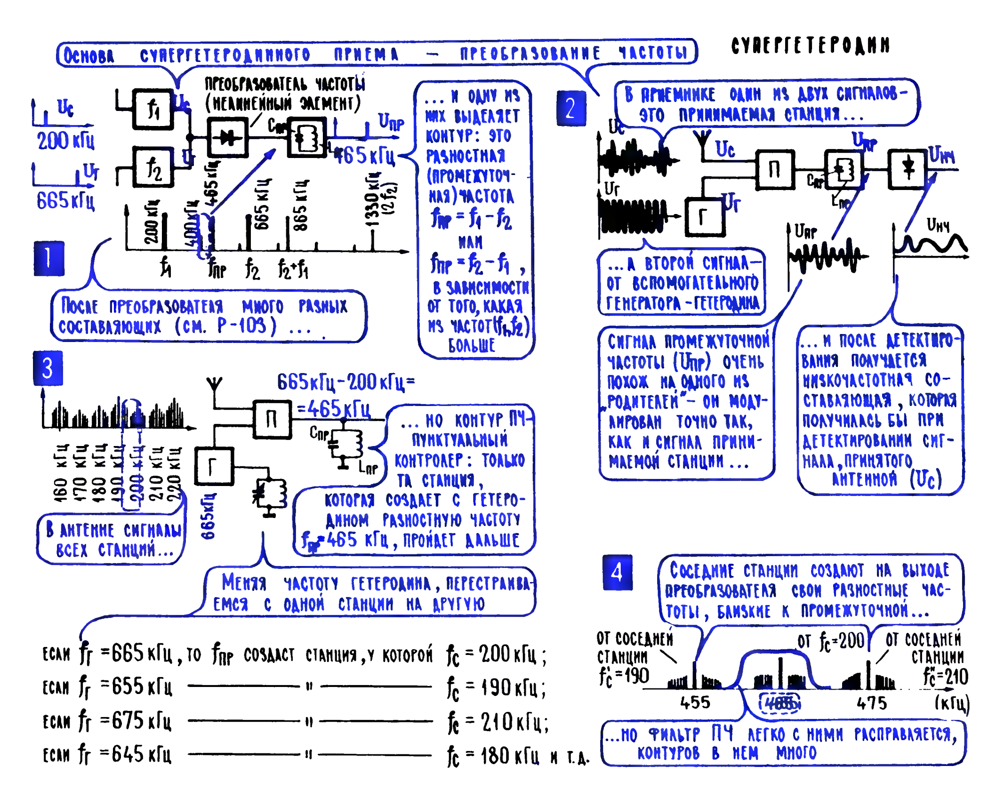
Если не считать положительной обратной связи, которая применяется редко из-за ее неустойчивости, капризности, то есть только один способ повышения избирательности — нужно увеличивать число контуров, через которые проходит сигнал (Р-126; 1, 2).

Предположим, что один контур ослабляет соседнюю станцию (по напряжению) в 2 раза (на 6 *дБ*) и что сигнал последовательно проходит через три таких контура. В итоге сигнал соседней станции будет ослаблен в $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ раз (избирательность по соседнему каналу $6+6+6=18$ *дБ* (С-9). А если ввести 5 контуров, то соседняя станция будет ослаблена уже в 32 раза (избирательность 30 *дБ*). Много это или мало, судите сами: у самых простых промышленных радиовещательных приемников избирательность по соседнему каналу не хуже 20 *дБ* (в десять раз по напряжению), а у приемников высокого класса не хуже 60 *дБ* (в тысячу раз).

Простой, казалось бы, способ повышения избирательности — увеличение числа контуров — на практике встречает серьезные трудности. Хотя бы потому, что каждый контур нужно настраивать, для него нужна отдельная секция в конденсаторе переменной емкости КПЕ. И еще для каждого контура нужны свой полный комплект катушек на все диапазоны и своя секция в переключателе диапазонов (Р-126). Кроме того, чем больше контуров, тем сильнее суммируются их личные недостатки. В процессе перестройки контура с помощью КПЕ и переключения катушек меняется соотношение между индуктивностью и емкостью контура, то есть меняется его добротность. И чем больше контуров в приемнике, тем сильнее меняются чувствительность и избирательность в пределах диапазона и при переключении диапазонов. А для диапазона коротких волн практически вообще нельзя создать приемник прямого усиления: относительное различие в частоте соседних станций слишком мало́, чтобы контур мог его заметить (Р-123; 4). С учетом реальных возможностей одного контура в таком приемнике надо бы иметь 50—100 настраиваемых контуров, а это трудно сделать даже в мысленном эксперименте.

Т-219. В супергетеродине сигнал любой частоты сначала преобразуется в сигнал постоянной промежуточной частоты, на которой и осуществляется основное усиление и выделение принимаемой станции. Главные недостатки приемника прямого усиления можно устранить, используя так называемый супергетеродинный метод приема. Вот его главная идея: любой сигнал, независимо от его частоты, нужно сначала преобразовать в сигнал с другой частотой, постоянной для данного типа приемника, а затем уже на этой, как ее называют, промежуточной частоте производить усиление и ослаблять мешающие станции. Несколько слов о том, как это делается и что дает. **Т-219**

Вспомните, что в нелинейном элементе два генератора создают не только гармоники своих напряжений, но и частотные гибриды — сигналы разностной и суммарной частоты (Т-182. Р-127; 1). Теперь представьте себе, что один из этих генераторов — приемная антенна, в которой пока действует только один сигнал U_c (в мысленном эксперименте и такое возможно) с частотой f_c (Р-127; 2). Источник второго напряжения $U_г$ — внутренний маломощный генератор приемника, так называемый гетеродин, его частота $f_г$. А на выходе нелинейного элемента — давайте сразу же его назовем, как принято, преобразователем частоты — включен колебательный контур $L_{пр}C_{пр}$,



настроенный на одну из двух гибридных частот, а именно на разностную, или, по общепринятой терминологии, промежуточную $f_{пр}$. Эта промежуточная частота будет численно равна $f_{пр} = f_г - f_с$, если частота гетеродина $f_г$ выше частоты принимаемого сигнала $f_с$, или будет равна $f_{пр} = f_с - f_г$, если $f_с$ численно больше, чем $f_г$. Как это уже часто бывало, здесь все дело в арифметике (Р-127; 1, 2).

Т-220. Благодаря постоянству промежуточной частоты в супергетеродине удается сравнительно простыми средствами получить высокую чувствительность и избирательность. А теперь семь особенностей супергетеродина, которые сделали его основным типом радиоприемников.

1. Сигнал ПЧ (промежуточной частоты) $U_{пр}$ точно так же промодулирован, как и сам принимаемый сигнал $U_с$, и поэтому после детектирования $U_{пр}$ получается точно такая же по форме низкочастотная составляющая, какая получилась бы при детектировании сигнала $U_с$.

2. От мысленного эксперимента с одной станцией вернемся к реальности, к антенне, в которой одновременно действует много сигналов самых разных частот (Р-127; 3). В этом случае, изменяя частоту гетеродина, мы будем получать промежуточную частоту то с одной станции, то с другой, то с третьей. А значит, контур $L_{пр}C_{пр}$ будет выделять сигнал той станции, которую укажет ему гетеродин, создав именно с этой станцией разностную частоту, численно равную промежуточной частоте $f_{пр}$.

3. С соседними станциями гетеродин тоже создаст разностные частоты, они будут на 10 *кГц* больше и меньше, чем промежуточная $f_{пр}$. И все остальные станции тоже создадут разностные частоты (для преобразователя частоты все сигналы равны, со всеми он поступает одинаково), которые еще

больше будут отличаться от промежуточной. Естественно, что контур $L_{пр} C_{пр}$ будет ослаблять все эти разностные частоты, будет выделять только сигнал с частотой $f_{пр}$. То есть контур $L_{пр} C_{пр}$ будет выполнять ту же работу, которую выполнял входной контур.

4. Если выбрать промежуточную частоту не очень высокой, то абсолютная расстройка на 10 *кГц*, соответствующая самой опасной соседней станции, может оказаться довольно большой относительной расстройкой и контуру будет несложно ослабить эту соседнюю станцию. В радиовещательных приемниках стандартом установлена промежуточная частота 465 *кГц*, которая ниже всех частот СВ и КВ диапазона. Поэтому даже один контур, настроенный на промежуточную частоту, обеспечит лучшую избирательность, чем один входной контур на СВ и тем более на КВ диапазоне. Практически при $f_{пр} = 465$ *кГц* один контур ослабляет напряжение соседней станции в десять раз.

5. Поскольку контур $L_{пр} C_{пр}$ всегда настроен на одну и ту же частоту, то в супергетеродинном приемнике можно использовать много таких контуров и получить хорошую избирательность без громоздкого блока КПЕ и сложного переключателя диапазонов (Р-126, Р-131).

6. Подбирая определенным образом связь между контурами ПЧ, можно получить их общую резонансную кривую, близкую к идеальной, столообразной (Р-129).

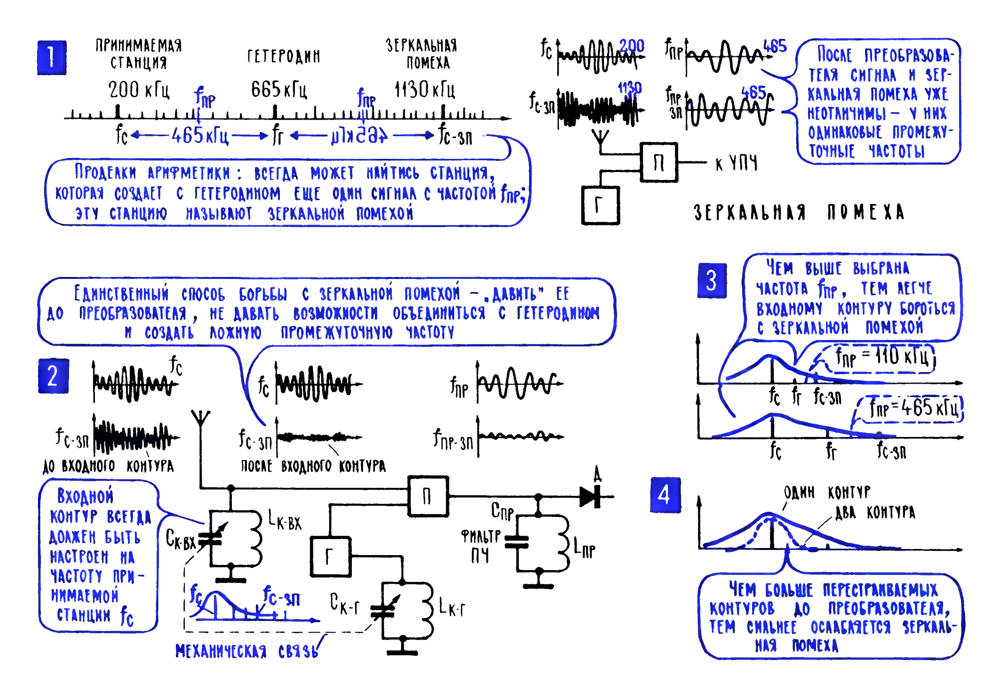
7. Основное усиление и выделение принимаемого сигнала в супергетеродине всегда производится на одной и той же частоте, и для этого приемника характерны равномерные избирательность и чувствительность как в пределах каждого диапазона, так и при переходе с диапазона на диапазон.

Достоинства, как видите, серьезные, они с лихвой перекрывают некоторые специфические недостатки супергетеродина (Т-223. Т-224), с которыми ко всему еще научились эффективно бороться.

Т-221. В усилителе ПЧ чаще всего используются многоконтурные полосовые фильтры. В качестве резонансного фильтра можно использовать один колебательный контур, а можно и несколько связанных друг с другом контуров (Р-126). Связь между контурами может быть индуктивной, когда катушки двух контуров связаны общим магнитным потоком, и емкостной, через конденсатор связи $C_{св}$.

Характер общей резонансной кривой зависит от степени связи между контурами. Причем здесь действуют те же законы согласования, что и в любой другой системе передачи энергии. В частности, усиливая связь между контурами, можно обнаружить, что энергия, передаваемая из одного контура в другой на резонансной частоте, сначала растет, а затем уменьшается (Р-129; 1, 2, 3). Максимальная энергия передается, когда вносимое в контур сопротивление равно его собственному, внутреннему сопротивлению, и такая связь называется оптимальной (Т-186).

Если установить связь меньше оптимальной, то энергии будет передаваться меньше, но зато острее будет общая частотная характеристика, общая резонансная кривая связанных контуров. А если немного превысить оптимальную связь, то резонансная кривая станет двугорбой: на частотах, удаленных от резонанса, напряжение на выходе фильтра будет чуть больше, чем на резонансной частоте. Потому что, как только мы отойдем от резонанса, один контур будет потреблять от другого меньше энергии, вносить в него меньшее сопротивление и связь опять станет оптимальной. Правда, при дальнейшем уходе от резонансной частоты напряжение на выходе фильтра падает с удвоенной скоростью и за счет того, что связь становится слабее опти-



мальной, и за счет самого ухода от резонансной частоты. В итоге форма резонансной кривой приближается к столообразной: в пределах полосы пропускания напряжение изменяется не очень сильно, за ее пределами падает резко (Р-129; 3). Такой двухконтурный фильтр сравнительно хорошо пропускает целую полосу частот, и его называют полосовым.

В усилителях ПЧ можно встретить самые разные варианты многоконтурных фильтров. Иногда контуры распределяют по нескольким усилительным каскадам, а иногда их объединяют вместе в так называемый фильтр сосредоточенной селекции (ФСС), а в усилительных каскадах в качестве нагрузки используют резисторы (К-8). В последнее время в качестве ФСС применяют пьезокерамические фильтры — конструкцию из взаимосвязанных механических резонаторов с пьезоэлектрическими свойствами (Р-131).

В усилителе ПЧ связь контуров с транзисторами, особенно с входными цепями транзисторов, как всегда, делают слабой, чтобы эти цепи как можно меньше шунтировали контуры, не снижали их добротность.

Т-222 **Т-222. Преобразователи частоты на транзисторах выполняются либо с отдельным гетеродином, либо с совмещенным.** В принципе преобразователем частоты может быть любой нелинейный элемент, и в некоторых приемниках с этой ролью прекрасно справляется диод. В радиовещательных приемниках преобразователь частоты обычно собирают на лампе или на транзисторе, причем здесь возможны два основных варианта схемы — с отдельным гетеродином и с совмещенным. В схемах с отдельным гетеродином два транзистора: на одном собран сам гетеродин (маломощный генератор, Т-171. Т-172), а второй транзистор только выполняет функции преобразователя, создает сигнал промежуточной частоты. А бывает, что для экономии транзисторов сам же гетеродин одновременно является преобразователем: к нему подводится еще и сигнал принимаемой станции.

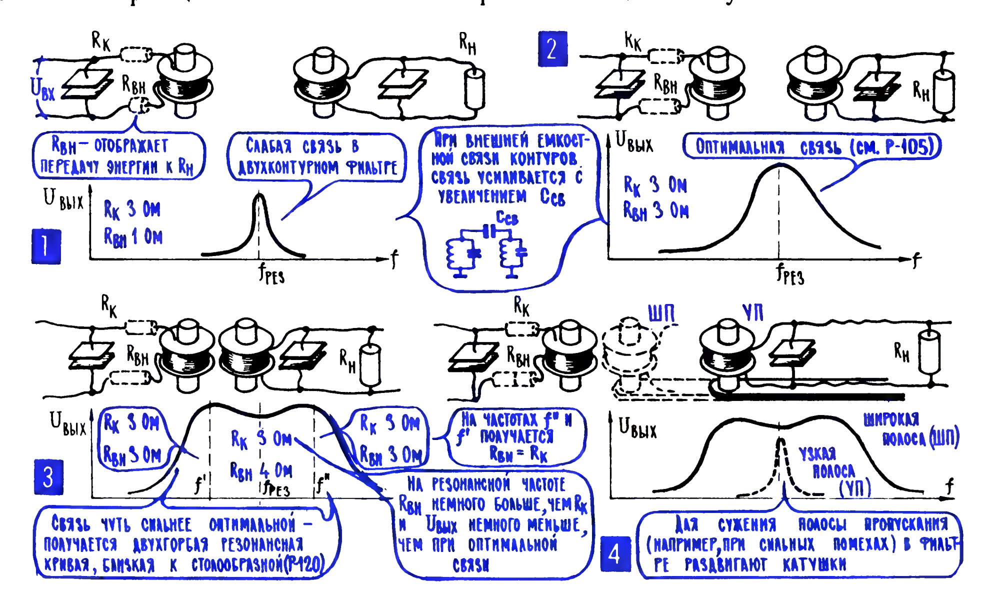
Шутливое равенство, составленное для усилителя, 2 + 2 = 3 (Р-107; 1), для преобразователя частоты с отдельным гетеродином превращается в 2 +

+ 2 + 2 = 3 и в 2 + 2 + 2 + 2 = 3 для преобразователя с совмещенным гетеродином. Потому что в первом случае на транзистор нужно подать уже не один усиливаемый сигнал, как в обычном усилительном каскаде, а два сигнала — сигнал принимаемой станции и напряжение гетеродина $U_г$. А во втором случае сюда добавляется еще и напряжение обратной связи гетеродина $U_{ос\ г}$. Подвести два или три разных сигнала к единственному входу транзистора, к участку база — эмиттер, не так-то просто, и в схемах преобразователей частоты можно встретить немало остроумных схемных решений.

В одной из самых распространенных схем преобразователя с отдельным гетеродином (Р-131) напряжение $U_г$ подается в цепь эмиттера преобразователя частоты T_1, подводится к резистору $R_э$. Таким образом для напряжения $U_г$ этот транзистор включен по схеме ОБ. Сопротивление входного контура на частоте гетеродина невелико, для нее этот контур заметно расстроен (Т-85). Резистор $R_э$ шунтировать конденсатором теперь уже нельзя: на нем действует напряжение $U_г$.

В одной из распространенных схем преобразователей с совмещенным гетеродином (Р-131) в цепь эмиттера включен сам контур гетеродина, точнее, часть этого контура. В этом случае, как и в предыдущем, на входе транзистора, на участке эмиттер — база, действуют соединенные последовательно два «генератора» — катушка связи и резистор $R_э$. Сам гетеродин здесь собран по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью, причем один из двух конденсаторов, необходимых для такой схемы,— это не что иное, как сопрягающий конденсатор (Т-224).

Т-223. В супергетеродинном приемнике для ослабления зеркальной помехи необходим входной контур. На первый взгляд может показаться странным, что в супергетеродинных приемниках сохраняется входной контур, в то время как контуры ПЧ и без его помощи могут прекрасно ослабить соседние мешающие станции, обеспечить нужную избирательность по соседнему каналу. И действительно: входной контур нужен совсем не для улучшения избирательности по соседнему каналу, он необходим для борьбы с помехами совсем иного рода — с так называемыми зеркальными помехами, которых не было и в принципе не могло быть в приемнике прямого усиления. Т-223



Р-129

В реальных условиях, когда в антенне бесчисленное множество переменных токов самых разных частот, кроме принимаемой, нужной нам станции, всегда найдется еще одна станция, которая вместе с гетеродином создаст еще один, но уже, конечно, никому не нужный сигнал промежуточной частоты, создаст, как ее называют, зеркальную помеху (Р-128; 1). Это будет станция, частота которой $f_{с\ зп}$, так же как и частота принимаемой станции $f_с$, тоже отличается от частоты гетеродина, но уже в противоположную сторону. Если, например, мы выбрали $f_г$ с таким расчетом, чтобы она была больше, чем $f_с$ на величину $f_{пр}$, то зеркальную помеху создаст станция, частота которой $f_{с\ зп}$ меньше частоты гетеродина на ту же величину $f_{пр}$. Эта станция создаст свое собственное напряжение промежуточной частоты, потому что преобразователю частоты безразлично, (Т-8), какая из подводимых к нему частот выше, а какая ниже, ему важно только, чтобы разница между частотами равнялась промежуточной частоте $f_{пр}$, на которую настроены контуры усилителя ПЧ. А если на вход преобразователя попадают два сигнала, для которых выполняется это условие, то он создаст составляющие промежуточной частоты с обоими этими сигналами.

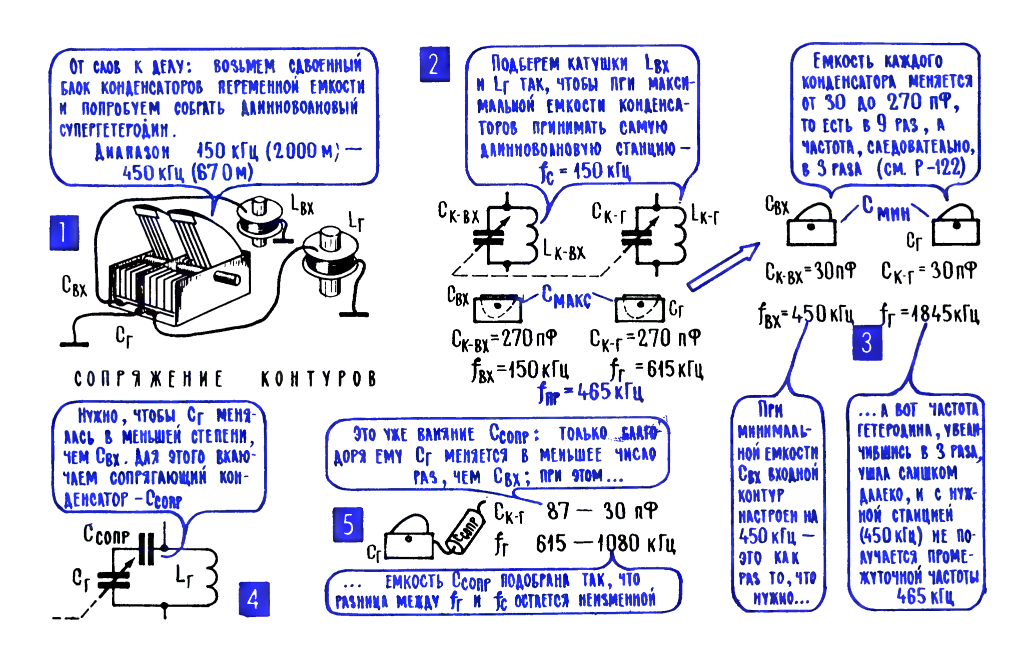
Бороться с зеркальной помехой после преобразователя частоты бесполезно, она уже неотличима от принимаемой станции, потому что имеет точно такую же промежуточную частоту. Единственное, что можно сделать для борьбы с «зеркалкой», так это ослабить потенциального врага до того, как он попадет в преобразователь частоты. И сделать это может только входной контур (Р-128; 2): он настроен на частоту принимаемой станции и за счет резонанса именно ее сигнал поднимается над остальными. А значит, эти остальные сигналы, в том числе и будущая зеркальная помеха, оказываются ослабленными.

Для супергетеродинных приемников вводится особая характеристика — избирательность по зеркальному каналу, она показывает, на сколько децибел резонансные входные цепи приемника ослабляют зеркальную помеху. Если, скажем, избирательность по зеркальному каналу 40 *дБ* (в сто раз по напряжению), то зеркальная помеха будет слышна наравне с принимаемой станцией, если эта помеха создаст в антенне в сто раз большее напряжение. А если сигнал и помеха на входе приемника равны, то на выходе помеха окажется в сто раз слабее. Чтобы улучшить избирательность по зеркальному каналу в приемниках высокого класса до преобразователя частоты, имеется второй контур, ослабляющий зеркальную помеху. Ввести такой контур непросто: его нужно перестраивать, а для этого необходимы отдельная секция КПЕ, комплект катушек, переключатель (Р-128; 4. Р-133; 3, 4).

Можно сразу же сказать, что чем выше добротность входного контура, тем больше он ослабляет зеркальную помеху, увеличивая одновременно уровень основного сигнала, то есть повышая чувствительность приемника. Наиболее трудные условия для подавления зеркальной помехи на КВ диапазоне, где опять-таки из-за широкой полосы пропускания входного контура даже зеркальная помеха зачастую ослабляется недостаточно.

Одна интересная особенность: разница между частотой принимаемой станции $f_с$ и частотой $f_{с\ зп}$, которая создает зеркальную помеху, зависит от того, какая промежуточная частота $f_{пр}$ выбрана для приемника. Чем выше $f_{пр}$, тем больше разница между каждой из этих частот и частотой гетеродина и тем, следовательно, дальше отстоят друг от друга сами частоты $f_с$ и $f_{с\ зп}$ (Р-128; 3).

Для борьбы с зеркальной помехой промежуточную частоту надо бы выбирать побольше, облегчая тем самым работу входного контура. Но в то же

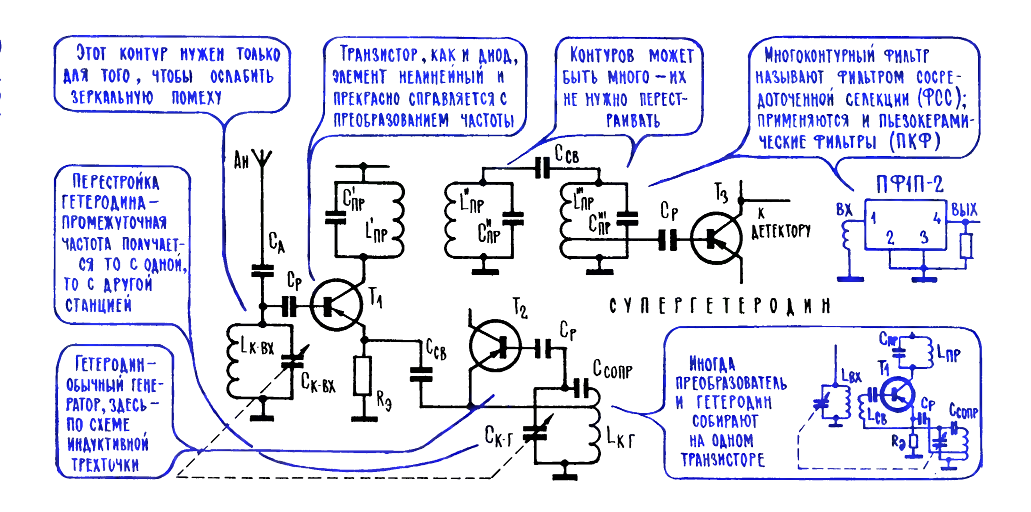


время с повышением $f_{пр}$ ухудшаются условия работы усилителя ПЧ и, в частности, его контурам становится труднее бороться с соседними мешающими станциями. Стандартную промежуточную частоту 465 *кГц* в этом отношении можно считать компромиссной — она позволяет получить хорошую избирательность по соседнему каналу и удовлетворительную избирательность по зеркальному каналу.

Т-224. Чтобы в пределах диапазона настройка входного контура совпадала с частотой принимаемой станции, в контур гетеродина приходится вводить сопрягающий конденсатор. В преобразователе частоты мы встречаемся еще раз с проблемой несогласованности абсолютного и относительного (Т-213). Если во входном и гетеродинном контуре применяются одинаковые КПЕ (конденсаторы переменной емкости), то при повороте ручки настройки они в одно и то же число раз меняют частоту своих контуров. А значит, относительное изменение частоты $f_с$ и $f_г$ оказывается одинаковым: если одна увеличивается в пять раз, то другая увеличивается тоже в пять раз, если одна уменьшается на 20%, то на те же 20% уменьшается и другая. А нам нужно совсем другое, нам нужно, чтобы при настройке приемника не менялась абсолютная разница между этими частотами, чтобы она всегда была равна промежуточной частоте. Если не выполняется это условие, то входной контур окажется настроенным уже не на частоту принимаемого сигнала, который вместе с гетеродином создает промежуточную частоту. А значит, входной контур, вместо того чтобы увеличивать уровень принимаемого сигнала, будет его ослаблять, будет ухудшать чувствительность приемника. Или наоборот: если подобрать КПЕ так, чтобы входной контур всегда был настроен на принимаемую станцию, то частота гетеродина в процессе настройки приемника будет все сильнее отличаться от того, что необходимо для создания промежуточной частоты именно с той принимаемой станции, на которую настроен входной контур (Р-130; 2, 3). Т-224

Согласование, или, как принято говорить, сопряжение, настроек гетеродинного и входного контуров получится, если в них применить две разные

Р-131



секции КПЕ, с разным коэффициентом перекрытия по емкости. Но такой сдвоенный блок из разных конденсаторов подошел бы только для однодиапазонного приемника, потому что на разных диапазонах разница между коэффициентами перекрытия по емкости (а значит, и по частоте) у входного и у гетеродинного контуров должна быть различной. При промежуточной частоте 465 *кГц* на диапазоне ДВ частота гетеродина $f_г$ должна измениться в 1,4 раза, а частота настройки входного контура $f_с$ — в 4,5 раза, на средних волнах, соответственно, в 2,1 раза и в 3,1 раза, на коротких волнах (обзорный диапазон от 25 до 60 *м*) частоту $f_г$ нужно изменить в 2,3 раза, а $f_с$ — в 2,4 раза (Р-174).

Задачу сопряжения решают с помощью конденсаторов постоянной емкости, включаемых последовательно с КПЕ гетеродина. Эти сопрягающие конденсаторы $C_{сопр}$ (Р-130; 4) уменьшают максимальную емкость контура (у двух последовательно соединенных конденсаторов общая емкость меньше наименьшей; Р-52; 6), а значит, уменьшают коэффициенты перекрытия по емкости κ_c и по частоте κ_f (Т-210). На каждом диапазоне — свой сопрягающий конденсатор; он подключается к КПЕ вместе с катушкой индуктивности.

К сожалению, добиться идеального сопряжения контуров во всех точках диапазона невозможно, и поэтому контуры точно сопрягают на трех частотах (Р-178), на остальных входной контур настроен на принимаемую станцию не совсем точно. Сопряжение контуров на расчетных частотах — задача непростая, требующая терпения и, главное, понимания, как тот или иной элемент контура влияет на резонансную частоту, на ее изменение в процессе настройки (Т-299).

Т-225

Т-225. Для плавной растянутой настройки на коротких волнах можно уменьшить перекрытие по емкости основного конденсатора или ввести дополнительный конденсатор с малым перекрытием. Огромные частотные просторы коротковолнового диапазона создают определенные трудности для тех, кто пользуется приемником. Если на длинных волнах на каждый градус поворота ротора КПЕ приходится примерно 1,5 *кГц,* то в КВ диапазоне при повороте ротора на один градус частота настройки меняется на 35 *кГц.* Если даже в несколько раз замедлить вращение ротора КПЕ, как это часто делают, с помощью пассика и шкивов, то все равно точно настроиться на коротковолновую станцию довольно трудно. И потому многие станции при настройке

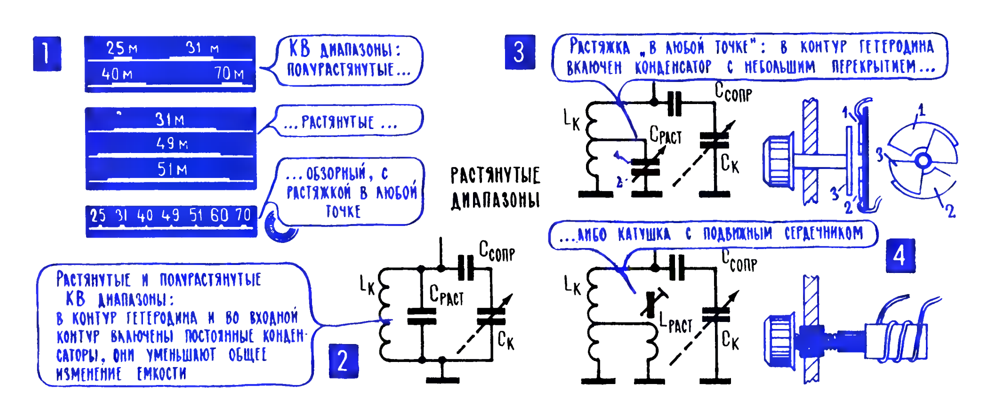
могут просто оказаться потерянными, их легко проскочить даже при небольшом повороте ручки настройки.

Чтобы сделать настройку на коротких волнах более плавной, растянутой, уменьшают коэффициент перекрытия КПЕ на этом диапазоне, включая в контур конденсаторы постоянной емкости (Р-132; 2). Конденсатор, подключенный параллельно КПЕ, повышает его минимальную емкость, а включенный последовательно с КПЕ — уменьшает его максимальную емкость. И оба конденсатора уменьшают коэффициент перекрытия по емкости κ_C (Т-210), а значит, и коэффициент перекрытия по частоте κ_f — при повороте ротора КПЕ частота меняется не так резко. Такие конденсаторы растяжки $C_{раст}$ включаются и в контур гетеродина, и во входной контур.

Существуют два основных способа растягивания КВ диапазона: 1) можно весь этот диапазон разделить на два-три участка и таким образом сделать настройку в два-три раза более плавной; 2) каждый из коротковолновых радиовещательных участков КВ диапазона превратить в самостоятельный диапазон радиоприемника — диапазон 25 *м*, диапазон 31 *м*, диапазон 41 *м* и т. д. При этом, правда, усложнится переключатель диапазонов, но зато густота станций будет не выше, чем на длинных волнах.

Есть еще один способ — плавная настройка в любой точке КВ диапазона с помощью так называемой электронной лупы. Это подстроечный конденсатор небольшой емкости, у которого ручка изменения емкости выведена на переднюю панель приемника (Р-132; 3). А можно в качестве элемента растяжки использовать катушку с высокочастотным ферромагнитным сердечником (Р-132; 4). Элемент растяжки подключается к контуру гетеродина или к части контура, и чем к меньшей части он подключен, тем более плавно меняет частоту. Во входной контур элемент растяжки не вводится — у этого контура на КВ очень широкая полоса пропускания, и он пропустит все станции в пределах растянутого участка.

Т-226. Схема радиоприемника, количество усилительных каскадов, контуров, данные основных узлов и элементов определяются параметрами приемника, которые нужно получить. Супергетеродинный метод позволяет строить приемники с очень высокой избирательностью и чувствительностью. Некоторые приемники систем космической связи, например, улавливают такие слабые сигналы, что их, наверное, можно сравнить лишь с энергией света, который приходил бы в Москву от спички, зажженной в Ленинграде. Но, конечно, за улучшение параметров всегда нужно платить сложностью схемы, количеством ламп, транзисторов, контуров и других элементов, а это не всегда целесообразно. А иногда просто и не нужно.



Так, например, на СВ и ДВ диапазонах нет смысла стремиться к чувствительности лучше 50—100 *мкВ* (для приемников с магнитной антенной 1—2 *мВ/м*). Потому что на средних и особенно на длинных волнах очень велик уровень атмосферных и промышленных помех, на их фоне просто теряются слабые станции. Или другой пример — улучшение параметров переносного приемника может потерять смысл, если из-за усложнения схемы он станет тяжелым и громоздким. И наконец, есть еще такой параметр приемника, как стоимость (единица измерения — рубли), на него обращают внимание радиослушатели, а значит, должны обращать внимание и конструкторы приемников.

Все радиовещательные приемники принято делить на четыре основных класса (С-19), и некоторые типичные блок-схемы супергетеродинов разных классов показаны на Р-133. Первые блок-схемы (Р-133; 1, 2) относятся к сравнительно простым приемникам, они различаются в основном схемой преобразователя частоты и построением схемы усилителя ПЧ (усилители ПЧ на всех схемах показаны одинаковыми квадратиками, хотя, конечно, схемы их могут заметно различаться). Отличительная особенность блок-схемы (Р-133; 3) — двухконтурный перестраиваемый фильтр на входе. Второй входной контур, естественно, улучшает избирательность по зеркальному каналу, он иногда вводится на СВ, а заодно уже и на ДВ диапазонах. Для приемника с такой входной цепью нужен уже не сдвоенный, а строенный блок КПЕ (две секции во входных контурах, одна в гетеродине), дополнительный комплект катушек и более сложный переключатель. На коротких волнах, вместо двухконтурного фильтра, чаще используется резонансный усилитель ВЧ (Р-133; 4), то есть усилитель сигнала на его собственной частоте, до преобразователя. Такой усилитель, благодаря своему контуру, тоже улучшает избирательность по зеркальному каналу, но к тому же повышает чувствительность, что для диапазона КВ весьма полезно: уровень помех на коротких волнах поменьше, здесь может пригодиться чувствительность до 5—10 *мкВ*.

На Р-133; 5 показана блок-схема приемника с УКВ диапазоном. УКВ радиовещательные передатчики, так же, кстати, как и звуковые передатчики телецентров, работают с частотной модуляцией (Т-205). Из-за особенностей распространений ультракоротких волн (Т-208) на этом диапазоне слышны только близкие, местные станции, и, несмотря на это, популярность УКВ с каждым годом растет. Огромные частотные территории УКВ диапазона позволяют не скупиться, не жалеть полосу частот для каждого передатчика: одна радиовещательная станция занимает на УКВ полосу в 150 *кГц* (в про-

С-8

С-8. ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НЧ

Приводятся данные выходных трансформаторов ВТ и согласующих межкаскадных трансформатов МТ некоторых распространенных радиоприемников. Обозначения: S — сечение сердечника (в *см*^{2}; в скобках указаны ширина средней части Ш-образной пластины и толщина набора в *мм*), I — данные первичной обмотки: число витков и диаметр провода в *мм*, II — то же для вторичной обмотки. В начале — название приемника, к которому относятся трансформаторы.

«Альпинист». ВТ:S — 0,4 *см*^{2} (Ш 6,4 × 6), I — 405 + 405; 0,12. II — 90 + 10; 0,38. МТ:S — 0,4 *см*^{2} (Ш 6,4 × 6), I — 1600; 0,08. II — 500 + 500; 0,08.

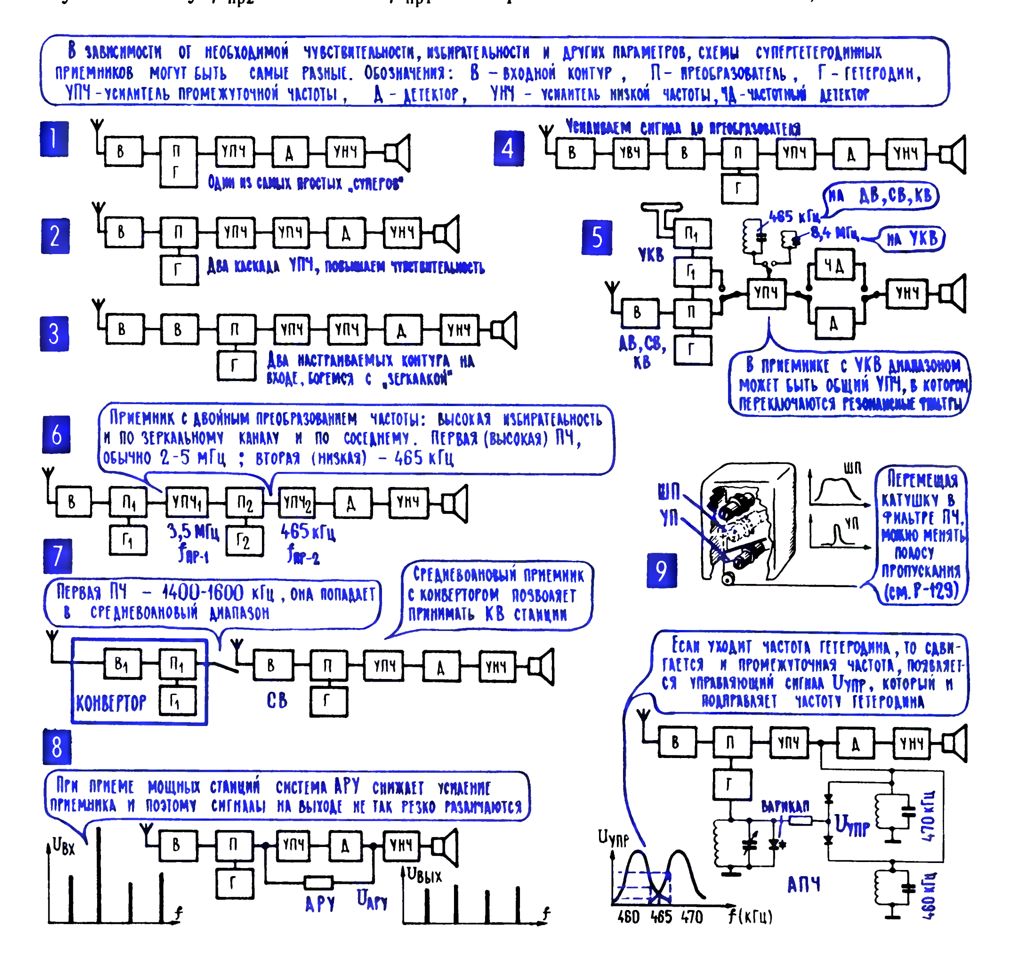
«Селга». ВТ:S — 0,3 *см*^{2} (Ш 5 × 6). I — 225 + 225; 0,15. II — 66; 0,35. МТ:S — 0,3 *см*^{2} (Ш 5 × 6). I — 1600; 0,08. II — 500 + 500; 0,08.

«Спидола». ВТ:S — 0,64 (Ш 8 × 8). I — 350 + 350; 0,18. II — 184; 0,29. МТ:S — 0,64 *см*^{2} (Ш 8 × 8). I — 2200; 0,1. II — 480 + 480; 0,14.

Выходные трансформаторы рассчитаны на определенное сопротивление нагрузки (звуковая катушка громкоговорителя), в частности, в «Альпинисте» на 4,5 *Ом*, в «Селге» на 10 *Ом* и в «Спидоле» на 5,5 *Ом*.

цессе модуляции частота отклоняется от несущей на 75 *кГц* в ту или другую сторону) вместо 10 *кГц* на всех остальных диапазонах. При этом передается очень широкая полоса звуковых частот, вплоть до самых высоких, 12—16 *кГц*. Кроме того, использование ЧМ позволяет очень эффективно бороться с помехами — их просто срезают в самом приемнике, ограничивают уровень сигнала. Чтобы усилитель ПЧ пропускал полосу 150 *кГц,* в УКВ/ЧМ приемниках выбирают весьма высокую промежуточную частоту, обычно — 8,4 *МГц*. Блок-схема относится к комбинированному АМ — ЧМ приемнику, в котором не делают двух усилителей ПЧ, а просто вводят в общий усилитель два комплекта контуров. Одни настроены на промежуточную частоту 8,4 *МГц* и работают лишь при приеме на УКВ, другие настроены на стандартную промежуточную частоту 465 *кГц,* которую они выделяют при приеме на всех остальных диапазонах. Преобразователь частоты для ультракоротких волн — отдельный, его часто называют «УКВ-блок».

На Р-133; 6 схема приемника с двойным преобразованием частоты: с принимаемым сигналом последовательно производят два преобразования — сначала получают первую промежуточную частоту $f_{пр1}$, а затем ее с помощью еще одного гетеродина еще раз преобразуют и получают вторую промежуточную частоту $f_{пр2}$. Частота $f_{пр1}$ выбирается весьма большой, обычно в не-



С-18. КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Здесь приводятся ориентировочные данные катушек приемника, эскизы которых показаны на К-4. Ориентировочными их приходится считать потому, что у нескольких катушек, особенно многослойных, изготовленных, казалось бы, совершенно одинаково, индуктивность может заметно отличаться. Увеличится, например, ширина намотки или плотность укладки витков или, тем более, диаметр провода, и все это приведет к заметному изменению индуктивности. Кстати, высокая точность в изготовлении катушек не всегда нужна: индуктивность, необходимая для данной конкретной конструкции приемника, зависит от емкости монтажа, и индуктивность эту все равно приходится подгонять. Делают это либо с помощью сердечника, либо, если его нет, перемещая одну из секций катушки относительно другой, или, наконец, подбирая число витков.

Все данные катушек приводятся в расчете на то, что в контуре используется конденсатор настройки КПЕ с емкостью 10—370 *пФ*. Если используется КПЕ с иной максимальной емкостью, данные катушек нужно изменить: если максимальная емкость 300 *пФ*, число витков нужно увеличить примерно на 15%; 250 *пФ* — на 25%; 200 *пФ* — на 40%; 150 *пФ* — на 60%; 500 *пФ* — уменьшить на 12%. Число витков часто приводится с небольшим запасом — отмотать провод с катушки легче, чем домотать его.

В справочных данных используются следующие обозначения: *W* — число витков; *Д* — диаметр каркаса в миллиметрах; *d* — диаметр провода в миллиметрах (предполагается использование провода в эмалевой изоляции —— ПЭ, ПЭВ, ПЭЛ и др.); *l* — ширина намотки в миллиметрах; ДВ, СВ, КВ — контурные катушки для диапазонов длинных, средних и коротких волн.

Магнитная антенна (только для ДВ и СВ)

Круглый стержень, феррит 600 НН, длина стержня 140 *мм*, диаметр — 8 *мм*, *Д* — 9, ДВ: *W* — 160; *d* — 0,12; *L* — 40, намотка «внавал». СВ: *W* — 55; *d* — 0,2; намотка однослойная, виток к витку. Плоский стержень, феррит 600 НН, длина стержня 90 *мм*, сечение 3×30 *мм*. ДВ: 3×30 + 3 × 30; *d* — 0,12; *l* (один трехсекционный каркас) — 15; намотка «внавал». СВ: *W* — 60; *d* = 0,2; намотка однослойная.

Входной контур

Каркас К-4;1 (только для ДВ и СВ): *Д* — 6; *l* (общая) — 12. ДВ: *W* — 3×190; *d* — 0,1. СВ: *W* — 3×40; *d* — 0,12.

Каркас К-4;2 (только для КВ): *Д* — 7; *W* — 15; *d* — 0,8; *l* — 18 (намотка принудительным шагом 1,2 *мм*).

Каркас К-4;3 (только для ДВ и СВ): горшкообразный сердечник СБ-12, внешний диаметр 12 *мм*, феррит 400 НН, ДВ: *W* — 330; *d* — 0,08; СВ: *W* — 3×42; *d* — 0,1.

Каркас К-4;8 (только для ДВ и СВ); *Д* — 9; *l* (одна секция) — 5; ДВ: *W* — 2×280; *d* — 0,1. СВ: 2 × 65; *d* — 0,1.

Каркас К-4;9 (только для ДВ и СВ): *Д* — 10; *l* (одна секция) — 6. ДВ: *W* — 2 × 280; *d* — 0,1. СВ: *W* — 2 × 65; *d* — 0,1.

Каркас К-4;10 (только для СВ и КВ): *Д* — 20; СВ: *W* — 140; *d* — 0,2; намотка однослойная, виток к витку. КВ: *W* — 10; *d* — 1,0; *l* — 20; намотка однослойная принудительным шагом 2 *мм*.

Гетеродинный контур

Приводится только число витков, все остальные данные такие же, как и для входного контура.

Каркас К-4;1: ДВ: *W* — 3 × 95. СВ: *W* — 3 × 40.
Каркас К-4;2: КВ: *W* — 14.
Каркас К-4;3: ДВ: *W* — 3×45. СВ: *W* — 3×28.
Каркас К-4;8: ДВ: *W* — 2 × 180. СВ: *W* — 2 × 52.
Каркас К-4;9: ДВ: *W* — 2 × 180. СВ: *W* — 2 × 52.
Каркас К-4;10: СВ: *W* — 110. КВ: *W* — 9.

Контур промежуточной частоты

(при емкости контура 500 *пФ* настроен на частоту 465 *кГц*)

Каркас К-4;11 (такой же, как К-4;1, но с ферритовым кольцом): *W* — 3 × 40; *d* — 0,12.
Каркас К-4;12 (такой же, как К-4;9): *W* — 2 × 70; *d* — 0,12.

Примечание 1 (о катушках связи). В приемниках К-7 и К-8 так же, как и в дру-

гих транзисторных приемниках, колебательные контуры включаются в схему с помощью катушек связи. Входной контур подключается к первому транзистору через катушку связи, число витков которой в десять — двадцать раз меньше (на КВ в два — пять раз), чем у самой контурной катушки. Это соотношение действительно и для катушек связи контура гетеродина с транзистором преобразователя частоты в схеме К-8 (катушки $L9$, $L12$, $L15$). Катушки обратной связи в гетеродине приемника К-8 ($L8$, $L11$, $L14$) имеют примерно на 30% меньше витков, чем сами контурные катушки соответствующего диапазона. Диаметр провода для катушек связи не имеет особого значения, обычно его выбирают в пределах 0,1—0,2 *мм*.

Примечание 2 (о литцендрате). Высокочастотный ток идет в основном по наружному слою проводника, и, чтобы снизить потери, в катушках ДВ и СВ используют особый многожильный провод — литцендрат, с большой общей поверхностью всех жил. Их число и диаметр каждой жилы входит в название марки литцендрата (например, 7×0,07). При пайке литцендрата необходимо тщательно зачистить, залудить и пропаять все жилы.

сколько мегагерц, и поэтому входные цепи могут эффективно бороться с зеркальной помехой. А вторая промежуточная частота выбирается не очень большой, чтобы во втором усилителе ПЧ можно было справиться с соседними станциями.

Приемник с двойным преобразованием получается и в том случае, когда к обычному средневолновому супергетеродину подключают приставку для приема на коротких волнах — конвертер (Р-133; 7. К-9). Сама приставка — это просто преобразователь частоты коротковолновых станций в частоту, которая лежит в границах средневолнового диапазона. Эту частоту (ее можно считать первой промежуточной $f_{пр1}$) выделяет входной контур приемника, а затем она в обычном порядке преобразуется в нормальную промежуточную частоту, например 465 *кГц*, которую теперь уже приходится называть второй промежуточной частотой.

В коротковолновом конвертере может быть несколько диапазонов, каждый соответствует одному радиовещательному участку — 25 *м*, 31 *м* и т. д. Перестройка с одной станции на другую в пределах одного участка производится самим средневолновым приемником. Коротковолновая приставка создает разностные частоты со всеми станциями вещательного участка, а приемник при перестройке выбирает одну из них, как выбирал бы одну из средневолновых станций. Так что КВ приставка с СВ приемником — это супергетеродин с двойным преобразованием и плавно изменяемой первой промежуточной частотой.

Справедливости ради нужно заметить, что приемники с двойным преобразованием требуют тщательнейшего расчета и налаживания, а иначе огромное число самых разных комбинационных частот создает огромное количество неустранимых помех. Это особенно заметно в такой сравнительно простой, можно даже сказать примитивной, системе, как средневолновый приемник с коротковолновым конвертером.

На Р-133 показаны также некоторые элементы схем, которые можно встретить в приемниках разных классов. Одна из них — система автоматической регулировки усиления, сокращенно АРУ (Р-133; 8). Ее вводят в чувствительный приемник, чтобы, вращая ручку настройки на станцию, не нужно было одновременно вращать ручку регулировки громкости. Сигналы на входе приемника могут быть разной силы, и если установить нормальную громкость для сравнительно слабого сигнала, то при переходе на сильный громкость резко подскочит и появятся страшные искажения. А если установить регулятор громкости в расчете на сильный сигнал, то при перестройке слабый можно вообще не услышать и проскочить мимо него. Автоматическая регулировка усиления нужна еще и в тех случаях, когда уровень сигнала одной и той же станции сильно меняется с течением времени. Как, например, в автомобиль-



С-19. ПАРАМЕТРЫ ПРИЕМНИКОВ

Все радиовещательные приемники принято делить на пять основных классов, некоторые их параметры приводятся ниже.

Параметры приемника		Высший класс	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
Чувствительность приемника (*мкВ*)	ДВ, СВ, КВ	50	150—200	150—200	200	300
	УКВ	5	10	20	30	
Чувствительность при приеме на магнитную антенну (*мВ/м*)			1	2	2,5	3
Избирательность по соседнему каналу (*дБ*)		60	46	34	26	20
Избирательность по зеркальному каналу (*дБ*)	ДВ	60	46	40	26	20
	СВ	50	26	26	20	20
	КВ	26	14	12		
	УКВ	30	22	22	20	
Уровень шумов и фона (*дБ*)	с антенны	—54	—44	—40	—30	—30
	с входа УНЧ	—60	—50	—46	—36	—36

ном приемнике, когда во время движения машины в городе антенну могут периодически закрывать троллейбусные провода и массивные железобетонные здания. Сильные изменения уровня сигнала, его замирания (фединги), наблюдаются на коротких волнах, например из-за изменения условий отражения радиоволн от ионосферы (Т-208).

Система АРУ — это, по сути дела, цепь отрицательной обратной связи по постоянному току, управляющая работой усилительных каскадов. Регулирующее напряжение $U_{АРУ}$ снимается с нагрузки детектора и каким-то способом уменьшает усиление сигнала до детектора. При этом получается, что чем больше сигнал, тем меньше он усиливается. Таким образом система АРУ старается (Т-8) поддержать одинаковый уровень сигнала на выходе усилителя ПЧ при изменении уровня сигнала на его входе. Существует несколько способов регулировки усиления с помощью напряжения $U_{АРУ}$. Вот один из самых распространенных: напряжение $U_{АРУ}$ подается «плюсом» на базу транзистора и меняет его режим таким образом, что усиление каскада уменьшается.

Другая система автоматики, которую можно встретить в приемниках высокого класса,— автоматическая подстройка частоты, сокращенно АПЧ (Р-133; 10). Она должна ликвидировать изменение частоты гетеродина (в результате медленного прогрева деталей, уменьшения напряжения батареи и т. п.), из-за которого теряется точная настройка на станцию, станция «уходит». В систему АПЧ обязательно входит частотный детектор, колебательные контуры которого реагируют на малейшие изменения промежуточной частоты в ту или иную сторону, вырабатывают управляющий сигнал $U_{АПЧ}$. Этот сигнал подается на управляемую емкость, например на закрытый полупро-

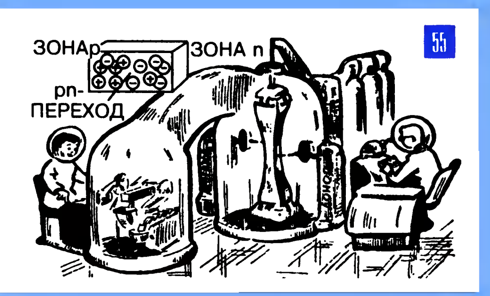
водниковый диод (собственная емкость диода зависит от приложенного к нему напряжения (Т-136); есть специальные диоды, предназначенные на роль управляемого конденсатора, они называются варикапами). Управляемая емкость включена в контур гетеродина и меняет его частоту до тех пор, пока промежуточная частота не вернется к своему исходному значению, то есть пока не восстановится точная настройка на станцию.

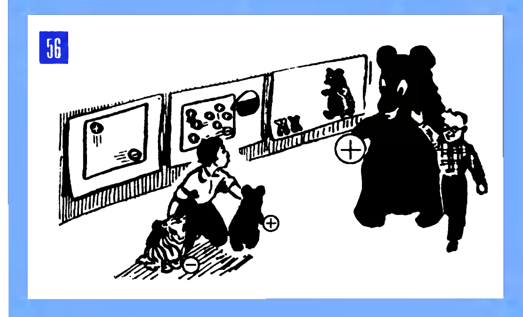
В усилителях ПЧ некоторых приемников можно встретить полосовой фильтр с переменной полосой пропускания: полосу сужают, ослабляя связь между контурами (Р-133; 9). При этом хотя и ухудшается звучание, но зато уменьшается энергия помех, которые проходят к детектору.

В приемниках встречается немало других интересных узлов, немало остроумных схемных решений. Приемник — прекрасный радиолюбительский университет, в нем сходятся усилители ВЧ, усилители НЧ, генераторы, системы автоматического регулирования, резонансные цепи, преобразователи спектра, разнообразные фильтры и многое другое. Кроме того, за успехи в изучении электроники приемник сразу же выставляет оценку: улучшается избирательность, чувствительность, качество звучания. Не говоря уже о том, что изучать электронику, копаясь в приемнике, в буквальном смысле легко и весело: как только приемник начал «дышать», то все дальнейшие занятия могут идти на фоне приятной музыки.

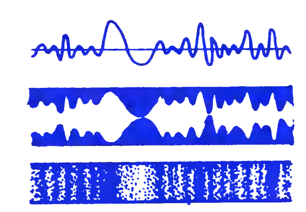
Но, перечислив все эти достоинства, мы все же покидаем царство радиоприемников — настал момент перейти в другой, тоже достаточно веселый учебный класс, перейти к звукозаписывающей аппаратуре.











ГЛАВА 14

ЗАПИСАНО НА ВЕКА



Т-227

Т-227. Записать звук — значит запечатлеть в материале точный его график, с которого потом можно было бы воспроизвести такой же звук. Еще совсем недавно совершеннейшей фантастикой казалась сама возможность записывать звуки, сохранять их долгое время, а затем воспроизводить, когда понадобится. Рассказ о записанных, замороженных звуках включили даже в репертуар известного вруна барона Мюнхгаузена («...На морозе звуки замерзли в рожке, а теперь, отогревшись у печки, оттаяли и стали сами вылетать из рожка»), и уже это одно говорит, насколько невероятной казалась сама возможность звукозаписи. А вообще-то если разобраться, то в записывании звуков нет ничего принципиально невозможного. Человек давно умел записывать медленные события — вести дневники, писать историю, строить графики изменения температуры или производства зерна. Задача звукозаписи сводилась лишь к тому, чтобы научиться записывать очень быстрые процессы, записывать изменения (в данном случае изменения силы звука), которые происходят за тысячные доли секунды.

Задачу записи быстрых звуковых колебаний впервые решил Эдисон в 1877 году. Идея его первого устройства звукозаписи — фонографа — была ошеломляюще проста, ее создание не потребовало ничего, кроме понимания сути дела. В принципе устройство, подобное эдисоновскому фонографу, могло быть создано много тысяч лет назад, сохранив для истории голоса Архимеда и Юлия Цезаря, Гомера и Пушкина. Однако тот факт, что великое изобретение тысячелетия лежало на поверхности, не стоит, наверное, объяснять капризами Случая. Появление того или иного изобретения, той или иной новой, свежей идеи во многом определяется общим уровнем научного мышления, общим уровнем представлений об устройстве мира. И еще, конечно, вниманием к предмету: фонограф изобрели в разгар «телефонной лихорадки», через год после рождения телефона, который показал, какие чудеса можно делать со звучащей речью.

Главная идея, положенная в основу фонографа, состояла в том, что вести летопись звукового давления, записывать звук поручили самому звуку. Человек, голос которого нужно было записать, говорил в рупор фонографа, под действием звуковых волн начинали колебаться, вибрировать укрепленная на конце рупора мембрана и закрепленная на ней стальная игла, следуя за всеми изменениями звукового давления. Игла упиралась в восковой валик (сначала применялись валики, покрытые мягкой оловянной фольгой), а пружинный механизм, наподобие часового, медленно вращал этот валик и одновременно перемещал его вдоль оси (Р-134; 1), и игла прорезала в мягком воске винтообразную канавку. А поскольку игла одновременно совершала колеба-

ния под действием звуковых волн, то глубина канавки получалась неодинаковой.

В первых системах звукозаписи была глубинная запись (Р-134; 2): при положительной амплитуде звуковой волны (наибольшее сжатие воздуха) игла вдавливалась в воск с наибольшей силой, и канавка получалась самой глубокой. А во время отрицательной амплитуды (наибольшее разрежение воздуха) канавка получалась наиболее мелкой. Так изменения звукового давления во времени превращались в изменения положения иглы в пространстве, и эти пространственные перемещения непрерывно фиксировались на движущемся воске. Или, проще говоря, к игле непрерывно подводились новые участки воска, и она записывала, каким в данное мгновение было звуковое давление в рупоре. И на воске появлялась фонограмма, этот своеобразный график звука, нарисованный самим звуком.

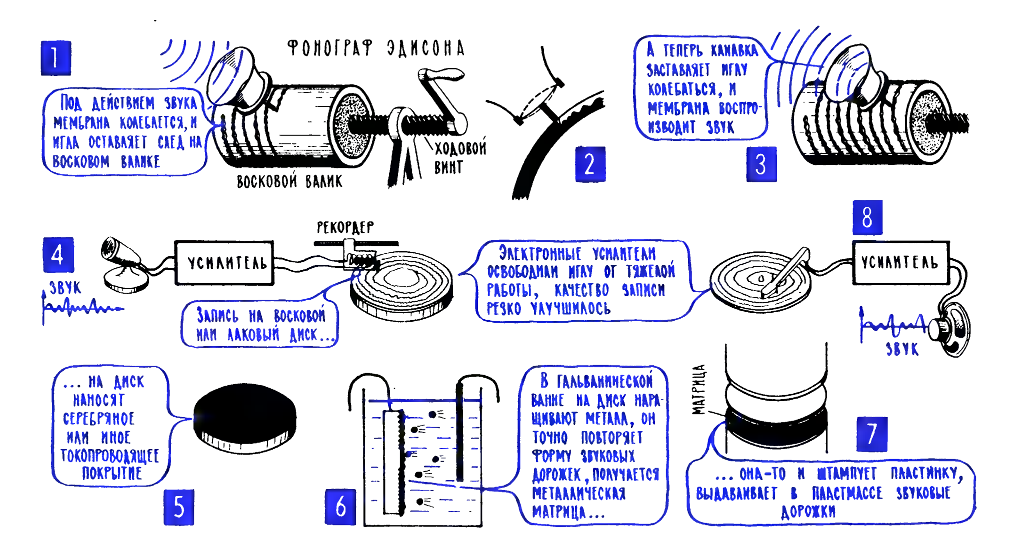
Воспроизведение звука с такой фонограммы тоже было несложным. Дело это было поручено самому графику, самой извилистой восковой канавке. Ту же иглу, которая только что прорезала в воске фонограмму, еще раз пускали по канавке, с такой же скоростью вращая восковой валик (Р-134; 3). Из-за изменения глубины канавки игла совершала движения вверх-вниз, подобно велосипеду, который движется по холмистой местности. А вместе с иглой приходил в движение излучатель звука — рупор.

Т-228. Современные системы грамзаписи позволяют получить высокое качество звучания. Такую систему звукозаписи, где след звуковых колебаний остается в виде механической деформации какого-либо материала, в частности воска, называют механической записью звука. За столетие своего существования системы механической записи сильно изменились, впитали в себя массу новых идей, изобретений, история которых наверняка могла бы послужить темой увлекательного приключенческого романа. Лет через десять после рождения фонографа восковой валик был заменен плоской пластинкой со спиральной звуковой канавкой, в принципе такой же, как на современных пластинках. Это позволило перейти к тиражированию записей, к изготовлению копий фонограммы. Т-228

Вот основные процессы такого пластинкопечатания. Сначала восковой диск с фонограммой покрывают токопроводящим слоем, например тончайшей графитовой пылью. Затем в гальванической ванне методами гальванопластики (восковой диск опускают в раствор ионов металла, и под действием тока эти ионы движутся к диску, осаждаются на нем) наращивают на него сравнительно массивное металлическое покрытие. Воск расплавляют и удаляют, остается металлическая матрица, с помощью которой на разогретом пластичном материале печатают, правильнее сказать, выдавливают, пластинки.

Принцип размножения фонограмм позволил решить сложное противоречие в требованиях к материалу: для записи теперь можно было применять мягкий, податливый материал, а для самих пластинок использовать материал более твердый, такой, который при воспроизведении записей не срезала бы игла, сглаживая тем самым извилины звуковой дорожки.

К концу прошлого века, то есть примерно через двадцать лет после изобретения фонографа, была разработана технология массового изготовления пластинок, появились граммофоны (от греческих слов «граммо» — запись, писать и «фон» — звук) и «замороженные» звуки, записанные голоса и оркестры, подобно книгам, чертежам, рисункам, стали продолжением нашей памяти. Еще через четверть века механическая запись звука стала электромеханической (Р-134; 4), а вскоре появились и электромеханические системы



воспроизведения. В них звуковую канавку освободили от физической работы, уже не сама игла двигала излучатель звука, и мощности от нее уже не требовалось. Механические колебания иглы переводились на электрический язык в так называемом звукоснимателе — он создавал электрическую копию звука наподобие микрофона. А затем полученный сигнал усиливался электронными усилителями и воспроизводился громкоговорителем (Р-134; 8). Теперь сама глубина звуковой канавки могла быть меньше, мельче могли быть и изгибы на ней — легкая игла, освобожденная от значительной массы рупора и связанного с ним воздуха, легко считывала самый сложный рельеф звуковой дорожки и не портила (почти не портила) при этом фонограмму.

Легкий звукосниматель во многом определил дальнейший прогресс грамзаписи (привычное сокращение, но не очень удачное — в буквальном переводе оно означает «запись записи», хотя по смыслу это «запись на граммофонных пластинках»), так как появилась возможность применять для пластинок новые мягкие материалы на основе винилитовых смол. Сегодня достижения механической записи звука можно проиллюстрировать такими цифрами. Частотный диапазон пластинки очень широк — от 20 *Гц* до 20 *кГц*, ограничения в основном связаны с качеством звукоснимателя. Стоит вспомнить, что при записи и воспроизведении звука чисто акустическим способом (рупор — игла — рупор) полоса частот в лучшем случае составляла 150—4000 *Гц*, причем очень сильной была неравномерность частотной характеристики из-за разного рода акустических резонансов.

Новые материалы позволили резко улучшить еще один показатель — во много раз снизился уровень собственных шумов пластинки, специфическое шипение, которое можно услышать со старинных, заигранных пластинок. У современных пластинок уровень шумов доведен до минус 50—55 *дБ*, причем после каждых пятидесяти проигрываний пластинки шум возрастает не более чем на 2 *дБ*.

Благодаря мягким материалам для пластинки и легкому звукоснимателю, не нагружающему пластинку, запись стали вести примерно в два с половиной раза «гуще», то есть сам рельеф дорожки можно было сделать мельче. Если, например, раньше при записи звука с частотой 1000 *Гц* допустимое расстояние между двумя соседними впадинами на дорожке составляло около 0,3 *мм*,

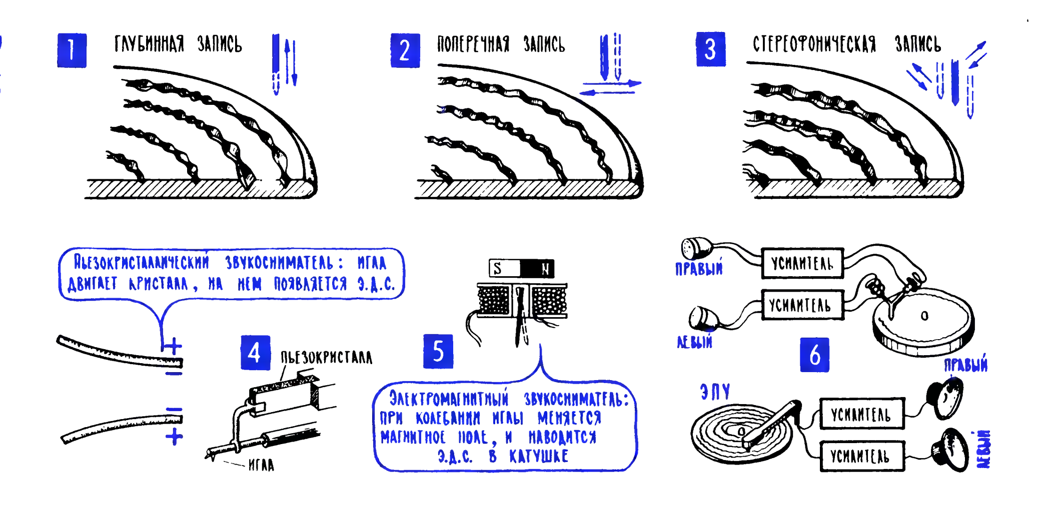
то теперь оно стало 0,15 *мм*. А значит, пластинки могут вращаться медленнее — вместо 78 оборотов в минуту сейчас наиболее широко используется скорость $33^1/_3$ оборота. Кроме того, меньше стала и сама ширина канавки, соседние канавки стали примерно в три раза ближе. И в итоге звучание пластинки диаметром 30 *см* увеличилось с 5 до 27 минут. У долгоиграющих пластинок диаметром 27 и 17,5 *см* время звучания соответственно 18 и 9 минут. У таких пластинок ширина звуковой канавки обычно меняется в пределах от 0,03 до 0,12 *мм*, расстояние между соседними канавками — 0,1—0,003 *мм*, тихим звукам соответствуют выступы канавки в десятитысячные доли миллиметра, то есть меньше размера пылинки. Это лишнее напоминание о том, что современная пластинка — изделие нежное, ее нужно бережно, аккуратно хранить.

Т-229. Качество звучания грамзаписей во многом определяется параметрами проигрывающего устройства. Любую систему воспроизведения звука можно сравнить с карманным фонарем, у которого несколько последовательно соединенных выключателей. Лампочка в такой схеме (она называется схемой для выполнения логической операции «И»; Т-267) включается лишь в том случае, если будут замкнуты все выключатели, размыкание любого из них разрывает цепь. Вот так же может испортить качество звучания любой участок звуковоспроизводящего тракта — микрофон, усилители, громкоговоритель. А в системах звукозаписи в этот список входит еще пластинка и само ЭПУ — электропроигрывающее устройство,— звукосниматель с иглой и тонармом, двигатель, который приводит в движение диск, система передачи вращения от двигателя к диску с пластинкой. Т-229

Звукосниматель должен иметь хорошую частотную характеристику, не создавать заметных нелинейных искажений, не портить пластинку в процессе проигрывания. Наиболее широко используются пьезоэлектрические (Р-135; 4) и электромагнитные звукосниматели (Р-135; 5), хотя возможны и другие системы звукоснимателей — фотоэлектрическая, полупроводниковая, емкостная.

Основа пьезоэлектрического звукоснимателя — пластинка или трубка из пьезокристалла, на котором под действием механической деформации возникает э.д.с. (Р-69; 2). Пьезокристаллу передаются колебания иглы, которая скользит по звуковой канавке, и на выходе появляется довольно большое переменное напряжение 0,1—0,5 *В*, электрическая копия записанного звука.

Внутреннее сопротивление пьезокристалла носит в основном емкостный характер, при включении в схему усилителя его приходится рассматривать как конденсатор сравнительно небольшой емкости около 500 *пФ*. На частоте 50 *Гц* сопротивление такого конденсатора — 6,4 *МОм*, на частоте 1000 *Гц* — 320 *кОм*. Эти цифры говорят о том, что входное сопротивление усилителя, к которому будет подключен пьезоэлектрический звукосниматель, должно быть достаточно большим. Иначе просто все напряжение низкочастотного сигнала, вся продукция звукоснимателя потеряется на его внутреннем сопротивлении. Вот почему первый каскад усилителя обычно собирают по схеме с общим коллектором (Т-190. К-1; 6), которая позволяет получить входное сопротивление 1—2 *МОм*. Но даже несмотря на это, влияние собственной емкости звукоснимателя остается весьма заметным, и это одна из причин его не очень равномерной частотной характеристики. К тому же пьезокристалл — элемент весьма нежный, он боится ударов, сырости, малейшая трещинка в кристалле навсегда выводит его из строя. И все же, несмотря на все эти недостатки, пьезоэлектрические звукосниматели находят самое широкое



применение, главным образом благодаря их простоте, технологичности и сравнительно невысокой стоимости.

В проигрывающих устройствах высокого класса в последнее время все чаще используют электромагнитные звукосниматели, для которых характерна широкая полоса воспроизводимых частот.

Строгие требования предъявляются не только к самому преобразователю колебаний иглы в электрический сигнал, к самой головке звукоснимателя, но и к тонарму, к рычагу, на котором крепится головка и который ведет ее по звуковой канавке. Тонарм, в частности, должен быть достаточно податливым, чтобы игла не очень сильно давила на боковые стенки канавки. В то же время должно точно выдерживаться положение иглы, ее перекосы приводят к сильным искажениям сигнала. От конструкции тонарма, распределения его массы зависит вес звукоснимателя, приведенный к концу иглы, а значит, и давление иглы на пластинку. Оно должно быть достаточным для того, чтобы игла плотно прилегала к звуковой канавке, следовала за всеми ее извилинами. В то же время слишком сильное давление иглы не только быстро выводит пластинку из строя, но и создает дополнительные искажения. В некоторых тонармах имеются перемещаемые противовесы, которые позволяют точно отрегулировать давление иглы. Большинство современных моделей проигрывателей снабжено еще и микролифтами, которые плавно спускают иглу на пластинку, оберегают ее, а заодно и сам звукосниматель от случайных резких ударов.

Не остается без внимания и система вращения диска, к ней тоже предъявляется ряд требований, нарушение которых карается плохим качеством звучания. Прежде всего, конечно, должно быть обеспечено равномерное вращение пластинки с заданной скоростью. Потому что любое изменение скорости приводит к изменению частоты воспроизводимого звука: если пластинка, например, замедлит вращение, то извилины звуковой канавки будут медленнее отклонять иглу и частота звука уменьшится. При периодическом изменении скорости звук «дробится»: в нем слышатся неприятные трели или же он становится очень жестким, резким. Или начинает «плавать» — появляется детонация, то есть изменение тона. Для проигрывателей среднего класса допускаются колебания скорости вращения диска не более чем на 0,3%, в проигрывателях высокого класса — не более чем на 0,2% и даже 0,1%.

Другой вид неприятностей — вибрации двигателя, которые передаются игле. Чтобы ослабить влияние механических вибраций, и сам двигатель, и всю плату ЭПУ подвешивают на резиновых втулках или на пружинах.

В электропроигрывателях высокого класса в последнее время стали применять синхронные электродвигатели с медленным вращением ротора. При этом диск, на который кладут пластинку, закрепляется непосредственно на оси двигателя, отпадает необходимость в разного рода роликах и пассиках, замедляющих вращение (ось типового асинхронного двигателя совершает около 1400 оборотов в минуту, а пластинка — примерно 33 или 45 оборотов). Скорость вращения в синхронном электродвигателе очень стабильна, она определяется только частотой питающего его переменного тока. Для питания синхронного двигателя в проигрывателях используется внутренний транзисторный генератор, чаще всего мультивибратор, и для перехода с одной скорости вращения на другую достаточно изменить частоту питающего напряжения, переключив некоторые элементы в схеме генератора.

Некоторые дополнительные требования предъявляются к электропроигрывателям, как и другим элементам звуковоспроизводящего тракта, когда от монофонического воспроизведения звука переходят к стереофоническому и тем более к квадрофоническому.

Т-230. Стереофонические и квадрофонические системы воспроизводят пространственное распределение источников звука. Для чего человеку два уха? На этот, казалось бы смешной, вопрос ответить не так-то просто. Можно, конечно, предположить, что природа просто снабдила нас резервом на случай болезни или иной неприятности. Но почему же она не позаботилась о резервировании сердца, печени, желудка?.. Вопрос о происхождении парных органов пока остается открытым. Но как бы в итоге ни решалась загадка двух ушей, как бы ни объяснилось их появление в процессе эволюции, мы можем точно сказать, что дает нам бинауральное слушание (в точном переводе — двухушное): оно позволяет определить место, где находится источник звуковых волн, следить за его движением и, следовательно, лучше ориентироваться в сложном мире звуков. Т-230

На низких частотах, примерно до 1000 *Гц,* наш слуховой аппарат фиксирует сдвиг фаз, то есть разность хода звуковых волн, попадающих в левое и правое ухо. Мозг мгновенно вычисляет, какому направлению может соответствовать такая разность хода, и таким образом определяет, откуда идет звук. На высших звуковых частотах уже сравнивается средняя сила звуков, пришедших к левому и правому уху, и по результатам сравнения определяется, с какой стороны идет звуковая волна (Р-66).

Точные регистрирующие приборы нашего слуха и слуховые центры мозга непрерывно сравнивают множество звуковых сигналов, поступающих с разных направлений, и рисуют в нашем сознании сложную картину пространственного распределения источников звука. Например, пространственное размещение музыкальных инструментов в большом оркестре. Или солистов в вокальном ансамбле. И если мы хотим, чтобы звуковоспроизводящая установка с высокой верностью воспроизводила бы точное звучание оркестра или ансамбля, то нужно не только воспроизвести всю полосу звуковых частот, не только предотвратить нелинейные искажения, не допустить появления посторонних призвуков, но нужно еще воссоздать пространственное распределение источников звука. Чтобы звук литавр, которые в оркестре находятся слева от слушателя, и в комнате, где мы слушаем пластинку, приходил слева. И чтобы мы слышали, как перемещается по сцене певец, чувствовали объем, пространство сцены.

Для точного воспроизведения пространственной звуковой картины нужно было бы установить на сцене большое число микрофонов и каждый связать со своим громкоговорителем. Это была бы довольно сложная система: каждой паре микрофон — громкоговоритель нужен свой отдельный канал связи или отдельная фонограмма. К счастью, оказалось, что вполне удовлетворительные результаты дают уже два звуковых канала (Р-135; 3), а двухканальную стереофонию не так-то сложно осуществить. В частности, оба звуковых канала, правый и левый, удается записать на одной пластинке и даже, более того, в одной звуковой канавке. На каждой из скошенных стенок канавки создается своя собственная глубинная запись, отдельная фонограмма. Скосы канавки расположены под углом 90° (под углом 45° к вертикальной оси; такая система называется 45/45), и каждый из двух взаимно перпендикулярных кристаллов звукоснимателя (или каждая из двух взаимноперпендикулярных катушек) преобразует в электрический сигнал колебания иглы только «своего» направления (Р-135; 6). Так на выходе двухкристального (двухкатушечного) стереозвукоснимателя появляются два независимых сигнала — «левый» и «правый». Они поступают на два независимых усилителя и воспроизводятся двумя громкоговорителями, расположенными на значительном расстоянии (2—3 метра).

Очень важно, чтобы соотношение между уровнями громкости правого и левого канала всегда оставалось таким, как соотношение громкости звуков, которые «услышали» два микрофона во время записи. Только при этом усло-

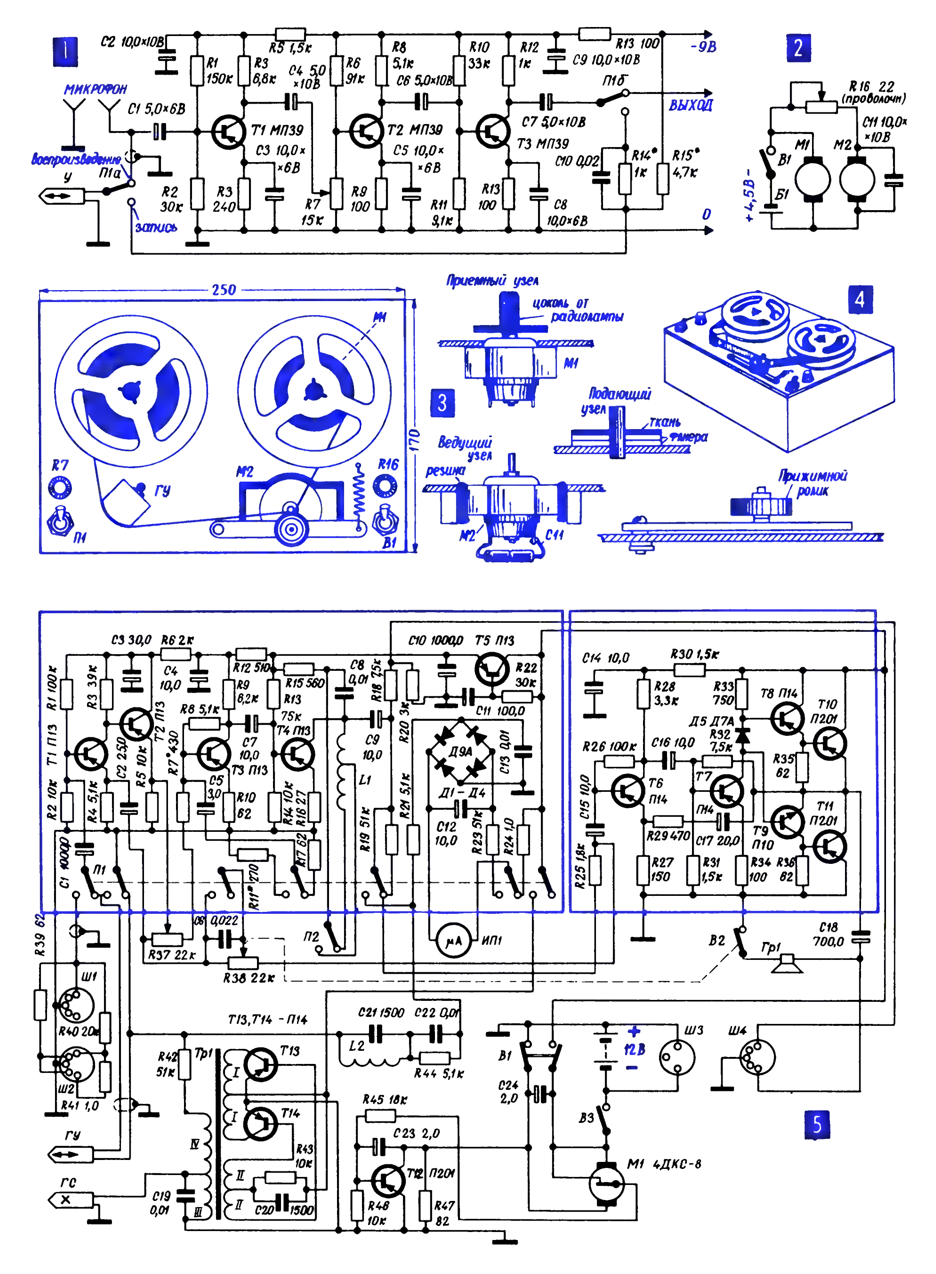
К-17. МАГНИТОФОНЫ

1, 2, 3, 4. Действующая модель магнитофона. Устройство, показанное на этих рисунках, по нынешним временам неудобно называть магнитофоном — оно, правда, записывает звук и воспроизводит, но качество звучания получается очень невысоким. Это скорее модель магнитофона, демонстрирующая принципы звукозаписи и утверждающая — «магнитофон можно построить своими руками».

В электрическую схему модели (1) входит универсальный трехтранзисторный усилитель, к его входу (воспроизведение) или к выходу (запись) подключается универсальная головка ГУ от любого магнитофона. Запись может вестись с микрофона или с любого другого источника сигнала (Р-104; 1). При записи осуществляется подмагничивание постоянным током (Р-137; 2), величину которого устанавливают раз и навсегда подбором R15 (через этот резистор постоянное подмагничивание вводится в головку ГУ). Уровень записи устанавливает R7, этим же резистором регулируют громкость при воспроизведении. К «выходу» можно подключить головной телефон или вход более мощного усилителя с громкоговорителем.

Двухмоторный лентопротяжный механизм (Р-140; 2) смонтирован на фанерной панели. Двигатель М1 — ведущий, сама его ось служит ведущим валом, к которому пленку прижимает обрезиненный ролик. Это может быть небольшой шарикоподшипник, на который надето кольцо, срезанное с резиновой трубки. Скорость протягивания пленки регулируется резистором R16. Двигатель М2 — подматывающий, на его ось надет простейший подкассетник (цоколь лампы). Подающий узел — неподвижный, кассета скользит по ткани и слегка подтормаживается, что как раз и необходимо для натяжения пленки. Ведущий двигатель закреплен на панели с помощью резиновых прокладок, это снижает шум двигателя, один из самых серьезных недостатков модели магнитофона. Другая неприятность — заметные наводки от двигателя на головку ГУ. Чтобы ослабить эти наводки, головку пришлось отодвинуть подальше от двигателей. Кстати, в модели использованы самые простые, самые дешевые «школьные моторчики» в пластмассовом корпусе; если взять двигатели получше, то шумы и наводки можно заметно снизить. Построить и наладить модель магнитофона несложно, она вполне может стать вашим первым шагом в любительскую звукозапись.

5. Схема переносного магнитофона. Это схема электронной части переносного магнитофона «Яуза-20», который выпускался несколько лет назад, схемы современных магнитофонов мало отличаются от нее. На схеме сразу же заметны ее основные блоки: сравнительно мощный усилитель НЧ (Т6—Т11), двухтактный высокочастотный генератор подмагничивания (Т13, Т14), электронный стабилизатор скорости двигателя (Т12), стрелочный индикатор уровня записи-воспроизведения с мостовым выпрямителем (ИП1, Д1—Д4), универсальный усилитель (Т1—Т4), который с помощью переключателя П1 используется и при записи и при вос-



произведении (Р-138; 4). Переключатель П2 меняет индуктивность катушки корректирующего контура при переходе со скоростью 9,5 *см/с* на скорость 4,7 *см/с*. Данные некоторых деталей: трансформатор Тр1: обмотки II — по 20 витков, IV — 100 витков (провод ПЭ—0,12), обмотки I—по 35 витков, III—90 витков (провод ПЭ—0,18), сердечник ОБ—20; L1 — 1750 + 1150 витков, ПЭ—0,1; L2—1500 витков, ПЭ—0,12; у обеих катушек сердечники ферритовые (600НН) диаметром 1,8 *мм*; двигатель постоянного тока 4ДКС-8 на напряжение 12—16 *В*, скорость (частота) вращения 2000 *об/мин*, мощность на валу — 0,5 *Вт*, потребляемая мощность 1,25 *Вт* (ток 100—120 *мА*), масса 270 *г*.

Эту схему можно взять за основу при разработке переносного любительского магнитофона, заменив при желании транзисторы более современными.

вии пространственная звуковая картина будет правдоподобной. Если, например, увеличить громкость правого канала, а громкость левого оставить без изменений, то весь оркестр уйдет вправо, исчезнет объем сцены и богатое звуковое пространство превратится в убогую звуковую точку. Вот почему регуляторы громкости и даже регуляторы тембра обоих каналов спарены: подвижные контакты переменных сопротивлений закреплены на одной оси, поворачивает их одна общая ручка. А для того чтобы первоначально установить правильное соотношение между уровнями правого и левого канала, вводится дополнительный элемент регулировки — переменный резистор «Баланс» (К-13; 4). С его помощью добиваются, чтобы оба громкоговорителя звучали с одинаковой громкостью, когда источник звука находится в центре сцены.

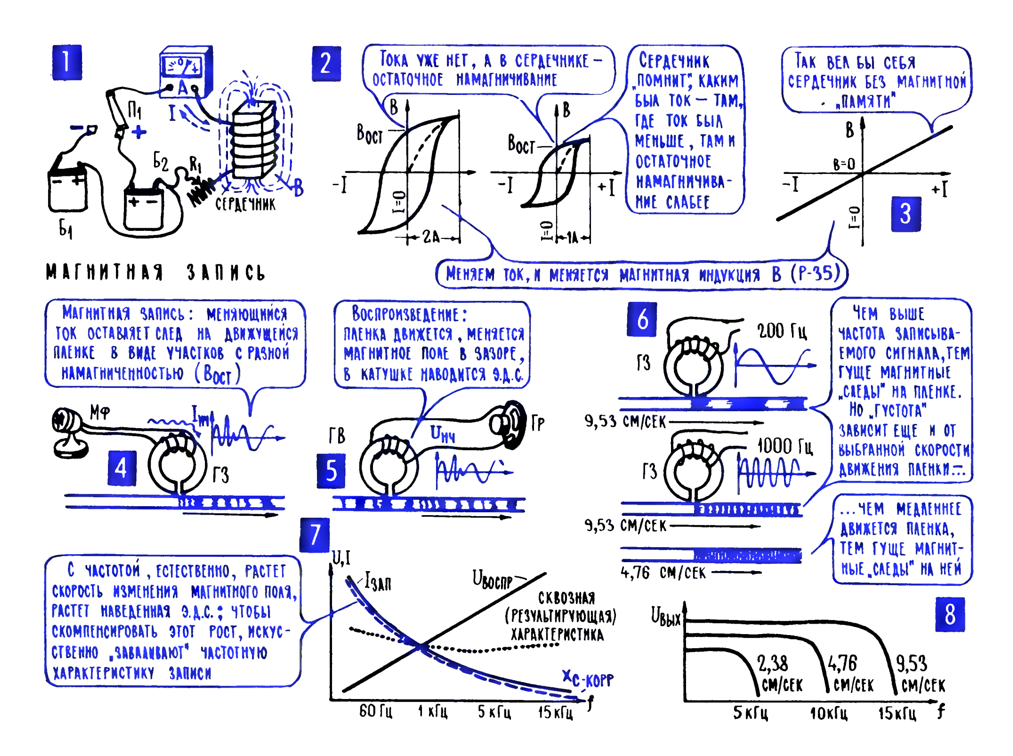
Одно из достоинств принятой системы стереофонической грамзаписи — ее совместимость. Это означает, что на стереопроигрывателе можно воспроизводить монофоническую, то есть одноканальную, запись (разумеется, звучание при этом тоже будет монофоническим, одноканальным), а стереопластинки можно проигрывать на обычном монофоническом проигрывателе (и, конечно, опять-таки без стереоэффекта). К этому достоинству нужно, правда, сделать дополнение: проигрывать стереофонические пластинки монофоническим звукоснимателем не очень-то желательно — если этот звукосниматель неточно отрегулирован, он будет портить пластинку.

В последнее время делаются попытки усилить эффекты объемного звучания, более точно передавать пространственную картину звука, используя уже не два, а четыре канала. Такие системы получили название квадрофонических, от слова «квадро» — «четыре». Придуман даже способ записывания всех четырех каналов в одной звуковой канавке, для этого используется идея частотного уплотнения каналов связи (Т-209). В систему записи вводятся два высокочастотных генератора, два «радиопередатчика», с несущими частотами в районе 40 *кГц*. Один из них модулируется сигналом третьего стереофонического канала, второй — сигналом четвертого. На каждой стенке звуковой канавки теперь записывают довольно широкий спектр частот, в него входят звуковые частоты первого или второго канала и ультразвуковые частоты, в которых модуляция зашифровала сигналы двух дополнительных каналов квадрофонии. В воспроизводящем устройстве эти модулированные сигналы третьего и четвертого каналов выделяются фильтрами, детектируются и воспроизводятся в чистом виде. Система эта довольно сложна, и пока часто осуществляют «псевдоквадро», то есть «как бы квадро»: из левого Л и правого П каналов стереофонии формируют еще два канала Л + П и Л — П; их подают на отдельные громкоговорители.

Очень высокое качество звучания, в том числе стереофонию и квадрофонию, позволяет получить магнитная запись звука.

Т-231

Т-231. Магнитная фонограмма: изменения звукового давления записаны в изменениях намагниченности участков ленты из ферромагнитного материала. Чтобы понять физическую основу магнитной записи звука, нужно обратиться к явлению, хорошо известному из повседневного опыта, к остаточной намагниченности. Иголка после соприкосновения с постоянным магнитом сама намагничивается, становится своего рода постоянным магнитом. Стальной сердечник, вставленный в катушку, по которой идет постоянный ток, сохранит некоторые остаточные магнитные свойства и после того, как ток в катушке прекратится. Все это и есть остаточный магнетизм, он связан с тем, что элементарные магнитики, однажды повернувшись под действием внешнего магнитного поля (Т-52), не полностью возвращаются в исходное



положение, когда это внешнее поле исчезает; нужно приложить внешнее поле обратного направления, чтобы размагнитить кусок стали. Но когда это поле исчезнет, появится остаточная намагниченность другой полярности, более слабая, чем первоначальная. Чтобы полностью размагнитить стальной предмет, его помещают в магнитное поле, созданное переменным током, и медленно вытаскивают этот предмет из меняющегося поля. Само явление остаточной намагниченности называют гистерезисом, а график, который показывает, как идет процесс намагничивания, за свою форму получил название петли гистерезиса (Р-136; 2).

Самое главное вот что: степень остаточной намагниченности — остаточная магнитная индукция $B_{ост}$ — зависит от того, насколько сильным было внешнее намагничивающее поле. Так, например, сердечник, вставленный в катушку с током, окажется намагниченным тем сильнее, чем больше был ток в этой катушке.

На графиках Р-136; 2 видно, что остаточная намагниченность $B_{ост}$ (то есть намагниченность после прекращения тока) будет разной при разных значениях намагничивающего тока. От этих графиков до магнитной записи звука остается буквально один шаг. К катушке, намотанной на сердечник с воздушным зазором, подводим низкочастотный переменный ток $I_{нч}$ (Р-136; 4), электрическую копию звука. Если протягивать мимо воздушного зазора стальную ленту, то меняющийся ток, точнее, его меняющееся магнитное поле создаст в различных участках ленты разную остаточную намагниченность: в те моменты, когда по катушке шел более сильный ток, намагниченность будет побольше; с уменьшением тока будет ослабевать и остаточная намагниченность. В итоге изменения намагниченности стальной ленты будут точно повторять изменения тока (а значит, звукового давления) во времени. Так же, как на пластинке, летопись звука отображалась глубиной канавки или изгибом

К-16. ПРИБОРЫ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

1, 2. Авометр. Он построен на основе магнитоэлектрического гальванометра (Р-173) чувствительностью 100 *мкА* и с сопротивлением рамки 1 *кОм*. Исходя из этих величин подобраны все резисторы, и, если в авометре будет использован другой гальванометр, нужны будут и другие резисторы. В то же время схема переключения может оставаться без изменений — это хотя и не очень совершенная, но зато очень простая схема, она не требует каких-либо редких деталей. Все переключения осуществляются самодельной вилкой (медный провод диаметром 1,2—1,5 *мм*, обмотанный изоляционной лентой), которая вставляется в одно из гнезд девятиштырьковой ламповой панельки (Ш1). Используя панельку с большим числом гнезд, например от электронно-лучевой трубки, можно увеличить число пределов измерений. Схема авометра описана в Т-290. Резисторы проще всего подбирать с помощью эталонного прибора, начинать следует с резисторов универсального шунта R2, R3, R4.

В авометр встроена простейшая схема для оценки коэффициента усиления по току *B* маломощных транзисторов. Проверяемый транзистор *p-n-p* или *n-p-n* вставляется в соответствующие гнезда семиштырьковой ламповой панельки. При этом в базовой цепи создается ток около 0,1 *мА* (от батареи Б2 через резистор R5 или R8), в коллекторную цепь включается миллиамперметр авометра на шкале (пределе) 30 *мА*. В этом случае величина тока, которую покажет прибор, умноженная на 10, даст ориентировочное значение коэффициента *B*. Если, например, коллекторный ток равен 10 *мА*, а базовый 0,1 *мА* (он всегда одинаков, его задает R5 или R8), то B = 100.

3. Усилитель-выпрямитель. Он выполнен в виде приставки к авометру и позволяет использовать его как индикатор уровня высокочастотного сигнала (Р-175; 3). Такая приставка удобна, например, при настройке контуров или при оценке уровня сигнала в высокочастотном генераторе.

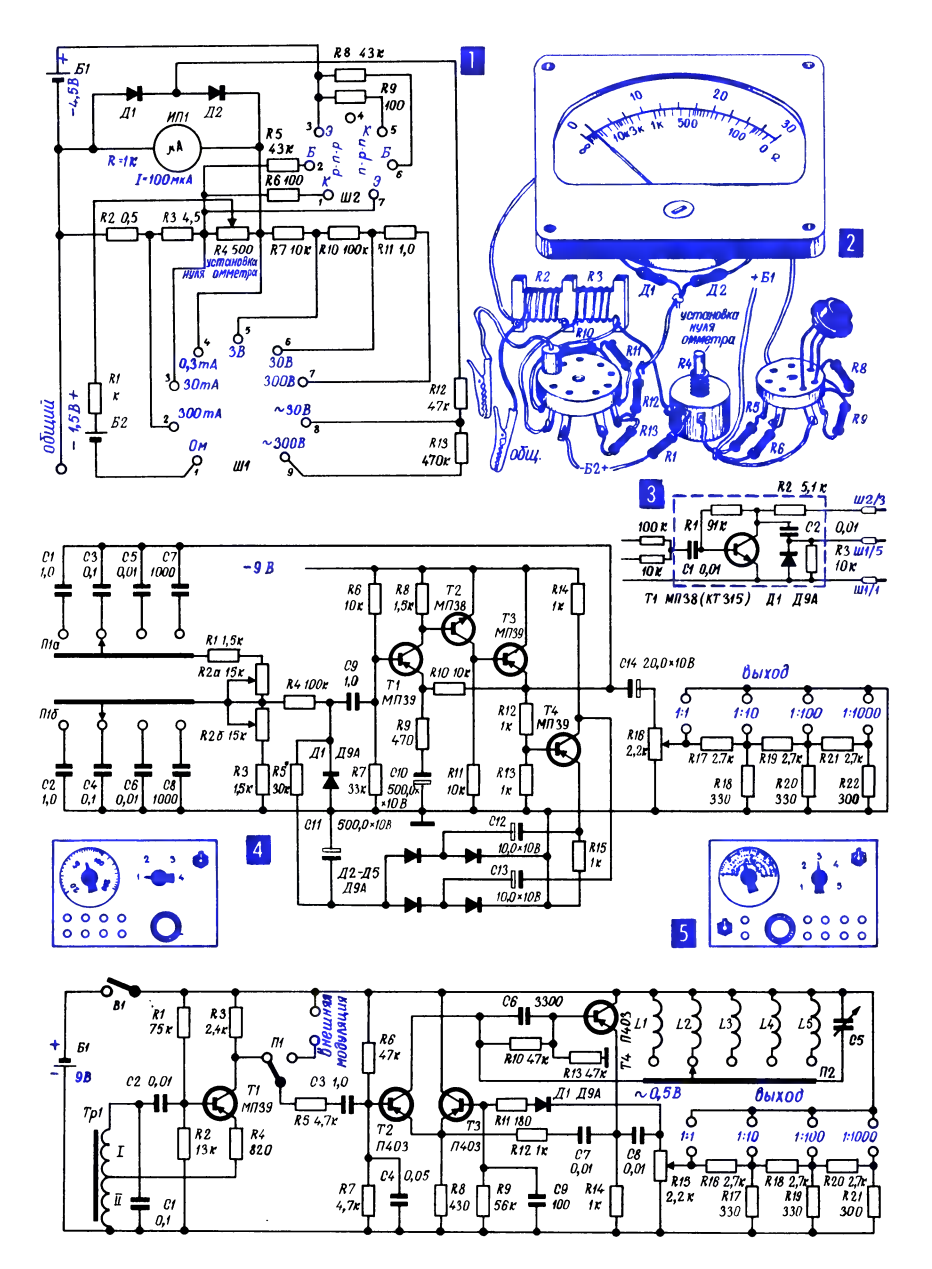
4. Генератор звуковой частоты. Незаменимый прибор при налаживании усилителей НЧ, особенно в сочетании с осциллографом. Сам генератор (Т1, Т2, Т3) по принципу действия очень напоминает *RC*-генератор (Р-98) — напряжение с выхода усилителя (в данном случае трехкаскадного), с нагрузки R12, R13 через сложную *RC*-цепь подается на вход усилителя, на базу Т1. Сдвиг фаз, необходимый для самовозбуждения, получается только на одной частоте, которую определяют элементы *RC*-цепи.

Схема усилителя построена так, что для самовозбуждения сдвиг фаз в *RC*-цепи должен быть равен нулю (сам усилитель поворачивает фазу на 360°, в отличие от однокаскадного усилителя с коллекторной нагрузкой, который поворачивает фазу на 180°). Необходимый нулевой сдвиг фаз создает так называемый мост Вина — последовательная *RC*-цепь (R1+R2*а* и один из конденсаторов С1, С3, С5, С7) в сочетании с параллельной *RC*-цепью (R3+R2*б* и один из конденсаторов С2, С4, С6, С8). Одновременным изменением сопротивления резисторов (R2*а* и R2*б* спарены) плавно меняем частоту в десять раз, например от 10 *Гц* до 100 *Гц*, а переключением конденсаторов меняем ее скачкообразно и тоже в десять раз — переключаем диапазоны. В генераторе четыре диапазона: 10 *Гц* — 100 *Гц*, 100 *Гц* — 1 *кГц*, 1 *кГц* — 10 *кГц* и 10 *кГц* — 100 *кГц*.

Транзистор Т4 — усилитель системы АРУ. Сигнал с него выпрямляется и управляет динамическим сопротивлением диода Д1, который вместе с R4 образует делитель напряжения сигнала, поступающего на базу. Система АРУ поддерживает выходной низкочастотный сигнал на постоянном уровне на всех частотах и, что особо важно, обеспечивает его чисто синусоидальную форму. Выходной сигнал снимается с нагрузки (R12 + R13) последнего транзистора (Т3), подается на систему из плавного делителя напряжения (R16) и ступенчатого (R17 — R22), которые совместными усилиями дают на выходе генератора низкочастотные напряжения от долей милливольта до одного вольта. Генератор потребляет ток 5—8 *мА*, его можно питать от батареи «Крона».

5. Высокочастотный генератор. Прибор этот сложней изготовить и наладить, чем предыдущий, но он также чрезвычайно полезен при налаживании многих схем, прежде всего приемников. Собственно генератор собран на двух транзисторах (Т2, Т4) и сам создает поворот фазы на 360°. Поэтому, как и в предыдущем случае, не нужно дополнительных устройств для поворота фазы (катушка обратной связи или отвод от средней точки контура). Обратная связь подается с R14 через R12, С7 на Т2, Т3 без поворота фазы; разделительный конденсатор С7 на фазу практически не влияет, на высоких частотах его сопротивление во много раз меньше, чем R12. Все это упрощает коммутацию, она сводится лишь к переключению контурных катушек L1—L5; плавное изменение частоты дает конденсатор С5. Контур в целом включен в качестве нагрузки в коллекторную цепь Т3; с него сигнал подается на базу Т4.

Транзистор Т3 входит в систему стабилизации уровня высокочастотного сигнала. На его вход подается постоянная составляющая выпрямленного (Д1) выходного сигнала, а коллекторная цепь самого Т3 фактически шунтирует всю цепочку «Транзистор Т2 — контур». На Т1 собран низкочастотный генератор, который модулирует амплитуду ВЧ сигнала, и этот модулированный сигнал можно услышать в приемнике. С выхода генератора (R14) сигнал подается на плавный (R15), а затем на ступенчатый делитель, они дозируют высокочастотное напряжение от десятков микровольт до десятых долей вольта.



Особо следует остановиться на таких деталях прибора, как катушки и конденсатор настройки С5. Именно они определяют границы каждого диапазона и, следовательно, общий диапазон генератора. Одновременно, конечно, на диапазон частот влияет емкость монтажная, которая входит в контур, и собственная емкость катушки (Р-122; 6). В одном конкретном экземпляре прибора был использован галетный переключатель (П2) с одной платой на 5 положений (К-4; 15), закрепленный на гетинаксовой пластинке; на ней же разместились все детали и был выполнен монтаж, причем так, чтобы катушки, особенно коротковолновые, соединялись с П2, Т4 и С5 кратчайшим путем. В качестве С5 была включена одна секция сдвоенного КПЕ от «Спидолы» (емкость 10—365 *пФ*). Катушки имели такие данные: L1—8 витков ПЭ—0,51; L2 — 20 витков ПЭ—0,38; L3—3×25 витков ПЭ—0,1; L4—3×70 витков ПЭ—0,1; L5—3×250 витков ПЭ—0,08; каркасы первых катушек L1 и L2 (коротковолновые показаны на К-4;2, остальных — на

К-4; 1. У генератора были следующие пять диапазонов 9—26 *МГц;* 3,8—10 *МГц*; 1,2—4 *МГц;* 320 *кГц* — 1,5 *МГц*; 100—350 *кГц*.

Почти на всех диапазонах параллельно катушке пришлось включить конденсатор постоянной емкости, чтобы несколько снизить перекрытие по емкости (частоте), то есть сделать настройку более плавной.

В приборе возможно применение катушек любой другой конструкции и другого конденсатора настройки. Данные катушек в этом случае проще всего подобрать опытным путем, исходя из того, что для получения некоторой частоты контур генератора должен иметь примерно те же данные, что и входной контур приемника, настроенный на такую же частоту. Налаживание прибора состоит из двух основных частей: нужно добиться генерации на всех диапазонах (Т-297), а затем вогнать диапазон в желаемые границы, подбирая число витков катушек (или, еще лучше, пользуясь сердечником) и подключая параллельно катушкам конденсаторы постоянной емкости. При этом можно подать сигнал на вход приемника и по его шкале определять частоту.

ее стенок, на стальной ленте она будет отображаться уровнем остаточной намагниченности.

Т-232

Т-232. Для воспроизведения звука с магнитной фонограммы используется явление электромагнитной индукции. Чтобы воспроизвести электрический сигнал с магнитной фонограммы, достаточно протягивать ее мимо катушки: меняющееся магнитное поле, как обычно, наведет в катушке э.д.с. $U_{нч}$, которая окажется точной копией пространственного изменения остаточной намагниченности на стальной ленте (Р-136; 5). А значит, копией того самого тока, который производил намагничивание стальной ленты, производил магнитную запись звука.

Нужно признаться, что слова «точная копия» применены здесь не очень точно: если не принять специальных мер, то электрический сигнал, воспроизведенный с магнитной фонограммы, будет сильно искажен, будет отличаться от сигнала, которым производилась запись. В частности, при воспроизведении магнитной фонограммы неизбежно появляются сильные частотные искажения, и связаны они с самой природой электромагнитной индукции. Наведенная в катушке э.д.с., как известно, пропорциональна не самому магнитному полю, а скорости его изменения (Т-59. Т-60): чем быстрее меняется магнитное поле, пронизывающее витки катушки, тем больше наведенная в ней электродвижущая сила. Чем ниже записанная на фонограмме частота, тем медленнее меняется магнитное поле в районе воспроизводящей катушки, когда мимо нее движется фонограмма. А поэтому при прочих равных условиях сигналы низших частот, воспроизведенные с магнитной фонограммы, будут намного меньше сигнала высших частот, частотная характеристика воспроизведения окажется сильно наклоненной линией (Р-136; 7).

К счастью, с частотными искажениями можно эффективно бороться с помощью корректирующих цепей, сопротивление которых зависит от частоты (Т-76. Т-78). В магнитофоне борьба эта ведется так: при записи вводятся корректирующие цепи, которые сильно заваливают высшие частоты (поднимают низшие) и тем самым заранее компенсируют частотные искажения, которые возникают при воспроизведении. Для этого, например, катушку записи шунтируют конденсатором $C_{корр}$: с увеличением частоты его емкостное сопротивление уменьшается и все большая часть тока проходит через этот конденсатор, проходит мимо катушки. Это компенсирует неравномерность характеристики воспроизведения (Р-136; 7).

Т-233

Т-233. В современных магнитофонах запись производится на полимерную пленку, покрытую тонким ферромагнитным слоем. Уже в начале нашего века грамзапись получила довольно широкое распространение, и граммофоны, как это принято сейчас говорить, стали аппаратами широкого потребления. Магнитофоны начали появляться в наших домах всего двадцать — тридцать

лет назад, и поэтому может создаться впечатление, что магнитофон — изобретение сравнительно молодое. А вместе с тем магнитофон был изобретен примерно в то же время, что и фонограф. Просто понадобилось много десятилетий, чтобы решить ряд сложных технических и технологических задач и превратить магнитофон из громоздкой, тяжелой установки, очень неудобной в обращении и создающей к тому же сильно искаженный звук, в простой и удобный аппарат с высоким качеством звучания.

Одно из таких решений — тонкая полимерная пленка, покрытая тончайшим слоем ферромагнитного порошка. Она сменила стальную ленту и проволоку, на которых велась запись в первых магнитофонах. Для магнитной записи электрических сигналов наша промышленность выпускает несколько типов пленки шириной до 70 *мм*. В магнитофонах широкого применения используется пленка шириной 3,81 *мм* (в кассетах) и 6,25 *мм* (на катушках), другие типы пленки находят применение в специальных звукозаписывающих устройствах, например в кино, а также в устройствах памяти электронных автоматов и вычислительных машин. Разные типы пленки могут иметь разную толщину в пределах от 0,018 *мм* до 0,055 *мм*. Ясно, что более тонкой пленки побольше умещается на катушку, а значит, при одном и том же диаметре катушки дольше звучит фонограмма.

С годами совершенствуются лентопротяжные механизмы магнитофонов (Т-239), в современных аппаратах значительно снижена механическая нагрузка на пленку, и, значит, в них можно применять более тонкую пленку, не опасаясь ее разрыва. Толщина ферромагнитного слоя у разных типов пленки лежит в пределах от 0,008 *мм* до 0,02 *мм* (8—20 *мкм*). Для массовых магнитофонов в основном применяются пленки типов 2, 6, 9 и 10, различающиеся некоторыми своими характеристиками. Так, например, первые два типа пленки выдерживают примерно в полтора раза большую механическую нагрузку и поэтому пригодны для магнитофонов старых типов. Пленка типа 2 требует несколько более высокого уровня сигнала записи, и на ней несколько хуже записываются самые высшие частоты. К магнитной пленке нужно относиться бережно, хранить ее в прохладном месте, беречь от сырости, сильных магнитных полей. От жары магнитная пленка пересыхает, становится хрупкой, рвется; от сырости она коробится.

Т-234. Магнитная головка: катушка на замкнутом магнитном сердечнике с малым воздушным зазором. В сердечнике магнитной головки имеется тончайший зазор, его обычно создают с помощью прокладки из бронзовой фольги, магнитные свойства которой почти такие же, как и у воздуха. Когда к зазору плотно прилегает движущаяся пленка, то магнитное поле замыкается уже не через сам зазор, а через закрывающий его участок ферромагнитного слоя пленки. А магнитный поток всегда старается замкнуться по пути с наименьшим магнитным сопротивлением (Р-35). Тонкий зазор — это лишь небольшой участок магнитной цепи записывающей головки, в основном же магнитное поле замыкается по пути с небольшим сопротивлением — по пермаллоевому сердечнику (С-6). Т-234

Замыкаясь через участок пленки, прилегающий к узкому зазору, магнитное поле оставляет на пленке очень узкий след, и запись ведется экономно, мелкими штрихами. А значит, пленку можно протягивать довольно медленно и на сравнительно небольшом куске пленки долго вести запись (Р-136; 6).

Т-235. Верхняя граничная частота записи определяется скоростью движения пленки и шириной рабочего зазора в головках. Владельцу магнитофона во всех случаях хотелось бы, чтобы пленка двигалась как можно медленнее, то есть чтобы одна кассета или катушка с пленкой звучали как можно дольше. Т-235

Но скорость движения пленки нельзя выбирать произвольно, она определяет ту наибольшую частоту, которую удается записать на фонограмме и которая определяет качество звучания магнитофонной записи. Чем более высокую частоту мы хотим записать, тем больше должна быть скорость пленки. Практически эту скорость выбирают с таким расчетом, чтобы фонограмма одного колебания самой высокой записываемой частоты по длине пленки занимала больше места, чем сам зазор магнитной головки (Р-136; 6).

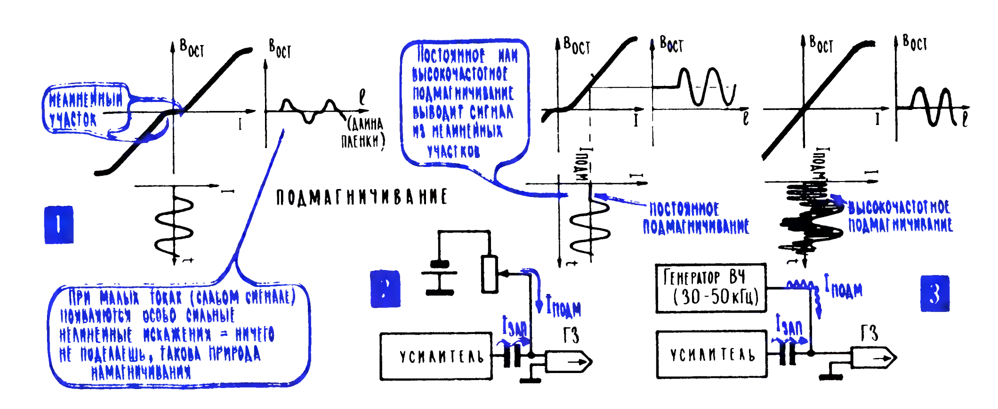
Если нарушить это условие, то окажется, что запись высокочастотного колебания еще не ушла из области зазора, а уже вовсю идет запись следующего колебания. И в воспроизводящей головке при слишком медленном движении пленки в зазоре может одновременно оказаться запись и положительного и отрицательного полупериода какого-либо колебания, а из-за этого в обмотке вообще не наведется э.д.с. Из этой картины, кстати, видно, что для снижения скорости пленки нужно уменьшать ширину зазора (Р-136; 6) — чем меньше зазор, тем короче след от каждого записанного высокочастотного колебания и тем медленнее можно протягивать пленку.

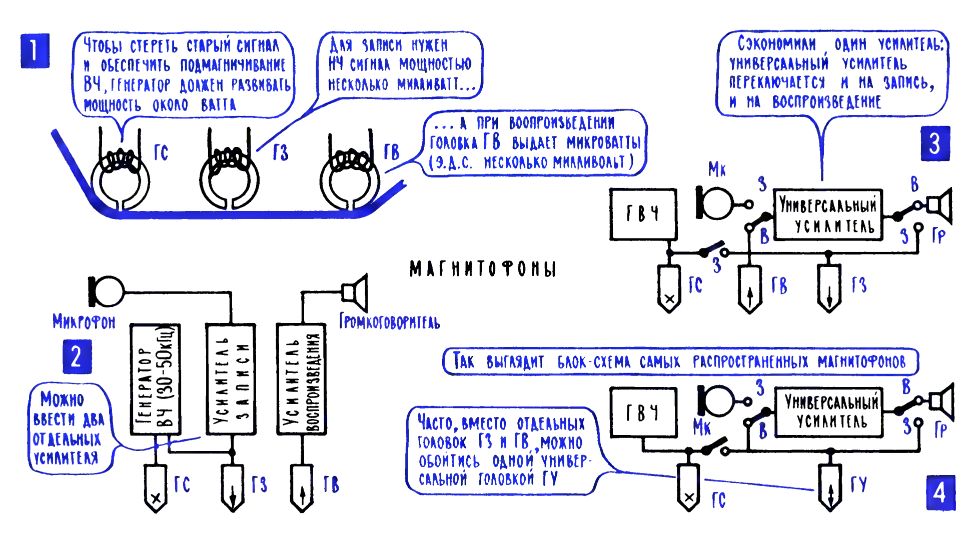
Но уменьшать зазор беспредельно также нельзя, и здесь существуют свои трудности, свои ограничения. В современных головках воспроизведения делают зазор примерно в 3 *мкм* (0,003 *мм*), и при этом на установленной стандартом скорости удается получить такие предельные частоты записи и воспроизведения: скорость 19,05 *см/с* — предельная частота около 18 *кГц*, скорость 9,53 *см/с* — частота 12,5 *кГц*, скорость 4,76 *см/с* — примерно 8 *кГц* и скорость 2,38 *см/с* — предельная частота около 5 *кГц*. Во многих магнитофонах предусмотрены две, а то и три скорости записи и воспроизведения, и, конечно, при меньшей скорости пленки звучат дольше, а частотная характеристика в области высших частот «кончается» раньше (Р-136; 8). Нужно сказать, что магнитная пленка постепенно стирает головку и ее характеристики в какой-то степени меняются.

Т-236

Т-236. Чтобы предотвратить сильные нелинейные искажения, при магнитной записи через записывающую головку пропускают постоянный или высокочастотный ток подмагничивания. Чтобы в процессе магнитной записи не возникало нелинейных искажений, чтобы изменения остаточной магнитной индукции $B_{ост}$ вдоль фонограммы в точности повторяли все изменения записываемого сигнала во времени, нужно, чтобы всегда сохранялась прямая зависимость между током в записывающей головке и остаточной намагниченностью, чтобы зависимость эта была линейной. А в действительности она нелинейная, имеет явный нижний загиб: в области малых намагничивающих токов остаточная индукция увеличивается очень незначительно (Р-137; 1).

Р-137





Р-138

Это связано с магнитными свойствами ферромагнитных материалов, с самой физикой остаточного магнетизма. Из-за этой «физики» запись слабых сигналов будет происходить с сильными нелинейными искажениями, да и сильные сигналы будут искажаться, когда, изменяясь, ток проходит через значения, близкие к нулевым. Бороться с такими искажениями можно только одним способом: нужно, чтобы сигнал не заходил в нелинейную область характеристики намагничивания. Для этого вместе с сигналом пропускают по записывающей головке некоторый постоянный ток (Р-137; 2) или переменный ток неслышимой сверхзвуковой частоты (Р-137; 3) от отдельного лампового или транзисторного генератора. Подмагничивание переменным током дает более высокое качество записи и применяется во всех современных магнитофонах. Генератор подмагничивания по совместительству используется для того, чтобы стереть старую запись, перед тем как на пленке будет создана новая фонограмма.

Сам высокочастотный ток подмагничивания (его частота обычно 30—50 *кГц*) не оставляет следа на пленке. За время, пока участок пленки проходит перед зазором записывающей головки, магнитное поле высокочастотного тока много раз меняет свое направление. А когда пленка выходит из сферы влияния зазора, высокочастотное поле, постепенно убывая, полностью размагничивает ее. Но так будет только в том случае, если высокочастотный сигнал действует в одиночку. Если же одновременно с ним в головку подается еще и низкочастотный сигнал $I_{зап}$, то есть тот сигнал, который нужно записать, на пленке появится медленно меняющаяся по ее длине остаточная намагниченность, отражающая в итоге только изменения низкочастотного сигнала. И поскольку намагничивание шло за пределами нелинейного участка, магнитная фонограмма будет достаточно точной копией записываемого сигнала.

Т-237. В магнитофоне необходимы усилители записи и воспроизведения или один универсальный усилитель. Уровень сигнала, наведенного фонограммой на воспроизводящей головке, очень мал — обычно это несколько милливольт или десятых долей милливольта, а по мощности тысячные и даже миллионные доли ватта. Ясно, что такой сигнал нужно усилить, прежде чем подать его на громкоговоритель или даже на вход усилителя НЧ, рассчитанного на работу от звукоснимателя или радиоприемника. В то же время к записываю- Т-237

щей головке приходится подводить напряжение в несколько вольт при мощности около ватта. А значит, если мы хотим записывать сигнал с микрофона или со звукоснимателя, то нужно иметь еще и усилитель, на выходе которого будет включена магнитная головка записи (Р-138; 2).

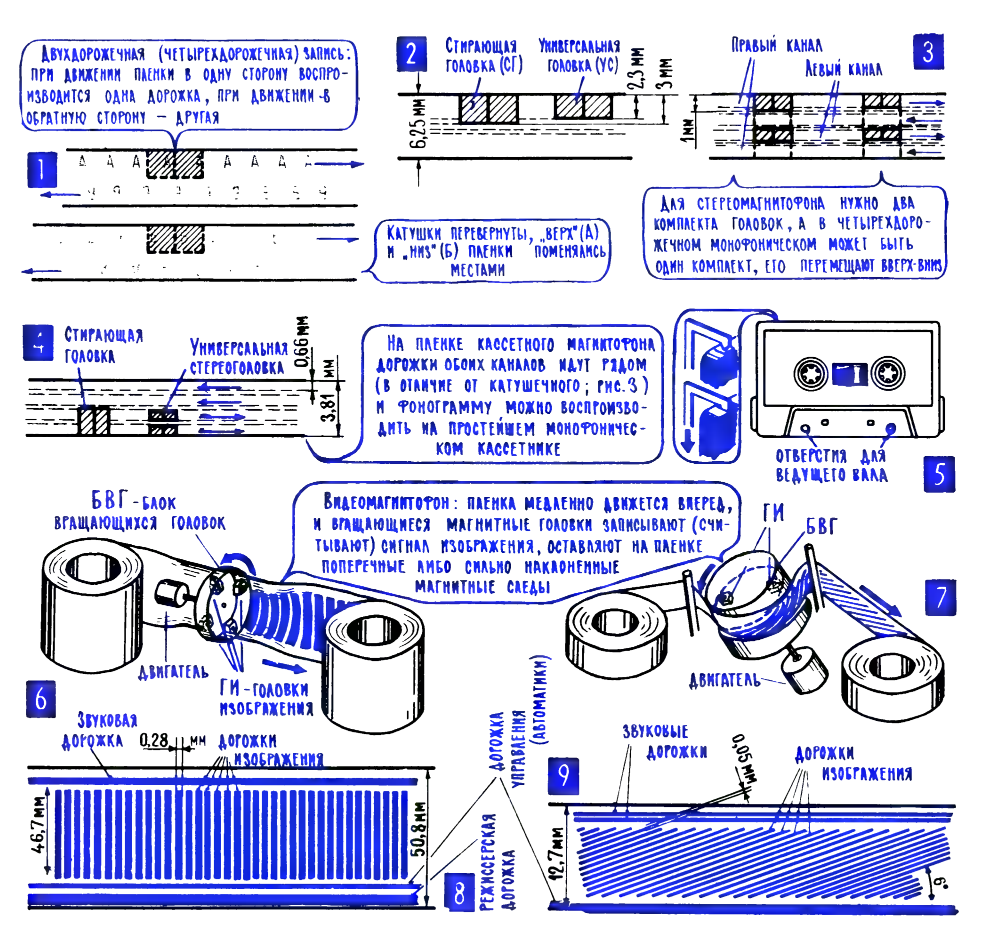
Вместо двух усилителей часто используют один универсальный (Р-138; 3); благодаря некоторым изменениям в схеме, которые производит многоконтактный переключатель, этот усилитель может работать и при записи, и при воспроизведении. Более того, во многих магнитофонах используется одна универсальная головка вместо двух — записывающей и воспроизводящей (Р-138; 4). При воспроизведении она подключается ко входу универсального усилителя, при записи — к выходу. Естественно, что при воспроизведении к выходу усилителя подключается громкоговоритель или вход следующего усилительного устройства. При записи ко входу усилителя подключается один из источников сигнала — микрофон, звукосниматель или радиотрансляционная линия. Поскольку все эти источники сигнала дают разное напряжение (микрофон — милливольты, звукосниматель — сотни милливольт, линия — 10—15 вольт), то они подключаются ко входу магнитофона через делители, которые все эти сигналы уравнивают и подают на вход усилителя (Р-104).

В числе обязательных переключений, которые производятся в универсальном усилителе при переходе от записи к воспроизведению и обратно, нужно назвать еще и включение в усилитель записи элементов, корректирующих частотную характеристику (Р-136; 7), в числе которых *RC*-цепочки и колебательный контур с резонансом в области высших частот. В двухскоростных магнитофонах (схема одного из них на К-17; 5) для каждой скорости своя предельная частота и при переходе с одной скорости на другую производятся переключения и в цепи коррекции.

Кроме того, при переходе на запись включается высокочастотный генератор подмагничивания, его напряжение подводится к универсальной головке ГУ и одновременно к отдельной стирающей головке ГС. По ходу пленки она стоит перед головкой записи и автоматически стирает старую фонограмму. Качество записи, в частности уровень нелинейных искажений, сильно зависит от того, как подобран уровень сигнала в универсальной головке. Поэтому в магнитофон вводятся индикатор и отдельный регулятор уровня записи. А чтобы случайно не стереть нужную фонограмму, по ошибке включив режим записи, в магнитофонах имеется блокировка: при переходе на запись приходится включать сразу две кнопки или кнопку и переключатель. И не очень-то велика вероятность, что по ошибке человек одновременно изменит положение этих органов управления.

Т-238

Т-238. В большинстве магнитофонов электрический сигнал записывают на двух или на четырех параллельных дорожках, а в видеомагнитофонах на большом числе дорожек, расположенных под углом или поперек пленки. Для магнитофонов, где пленка наматывается на катушки, шестимиллиметровая пленка, пожалуй, самая удобная. Во всяком случае, более узкая пленка, по-видимому, легко спутывалась, перекручивалась и рвалась бы. С другой стороны, при современных ферромагнитных покрытиях пленки, магнитных головках, усилителях можно было бы обойтись и более узкой пленкой. Компромиссным решением стала многодорожечная запись — сначала на стандартной шестимиллиметровой пленке стали записывать две фонограммы, а теперь часто и четыре (Р-139). Соответственно уже при двухдорожечной записи возможна двухканальная стереофония, а при четырехдорожечной — даже квадрофония.



Проигрывание фонограмм с разных дорожек возможно двумя разными способами. В большинстве двухдорожечных магнитофонов головки просто закреплены в приподнятом положении, чтобы они прилегали к пленке не по всей ширине, а лишь к ее половине (Р-139; 1). При этом чтобы перейти с одной дорожки на другую, пленку нужно просто перевернуть. Это довольно удобно, можно обойтись без перемотки пленки — в одну сторону проигрывается одна дорожка, а затем кассеты меняют местами, переворачивают, и звучит вторая дорожка.

Есть магнитофоны, в которых два комплекта головок, их можно переключать в зависимости от того, какая дорожка используется для записи или воспроизведения. Причем пленка может двигаться как в одну, так и в другую сторону, что создает дополнительные удобства — катушки не только не нужно перематывать, но даже не нужно переставлять. Иногда в магнитофонах такого типа имеется один комплект головок и при переходе с дорожки на дорожку головки просто поднимаются или опускаются. В четырехдорожечных магнитофонах имеются два блока — блок стирающих головок и блок универсальных головок, в каждом из которых по две одинаковые головки, расположенные одна над другой (Р-139; 3). При стереофонии обе головки одного блока работают одновременно, каждая в своем канале.

Широко распространены магнитолы — кассетные магнитофоны, особенно

переносные, встроенные в приемник. Все соединительные цепи между приемником и магнитофоном находятся внутри, и достаточно просто нажать кнопку, чтобы концерт, который вы принимаете из эфира, немедленно начал записываться на кассету. И еще один тип магнитофона — двухкассетный. Это фактически два независимых магнитофона в одном корпусе (например, в переносной магнитоле), что, конечно, очень удобно при перезаписи с одной кассеты на другую.

Заговорив о многодорожечной магнитной записи, уместно вспомнить еще один аппарат для магнитной записи электрических сигналов — видеомагнитофон. При этом мы, правда, несколько забегаем вперед, так как видеомагнитофон — аппарат для записи изображения, превращенного в электрический сигнал телевизионными методами, а знакомство с телевидением у нас еще впереди (глава 16).

Пока, правда, нам достаточно, не касаясь подробностей, отметить лишь одну особенность телевизионного сигнала — его спектр содержит составляющие с очень высокими частотами. В частности, для стандарта, принятого в нашей стране, спектр видеосигнала (сигнал, в котором отображается картинка) простирается примерно до 6 мегагерц (Т-256), это в 300 раз больше, чем максимальная частота звука, которую должен записать и воспроизвести обычный звуковой магнитофон.

Но можно ли вообще записать на магнитную ленту сигнал такой высокой частоты? Еще недавно мы выяснили, что чем выше записываемая частота, тем быстрее нужно продвигать ленту относительно магнитной головки (Т-236). Для записи звука в диапазоне до 20 килогерц в магнитофонах первого класса скорость движения ленты почти 20 *см/сек* (19,5 *см/с*), и отсюда можно подсчитать, что для записи видеосигнала ленту нужно протягивать мимо головки со скоростью $20 \cdot 300 = 6000$ *см/сек* = 60 *м/с*, примерно 200 *км/ч!* Трудно представить себе магнитофон, где лента движется быстрее курьерского поезда, не говоря уже о том, что при такой скорости большой пятисотметровой катушки хватит на каких-нибудь 8 секунд.

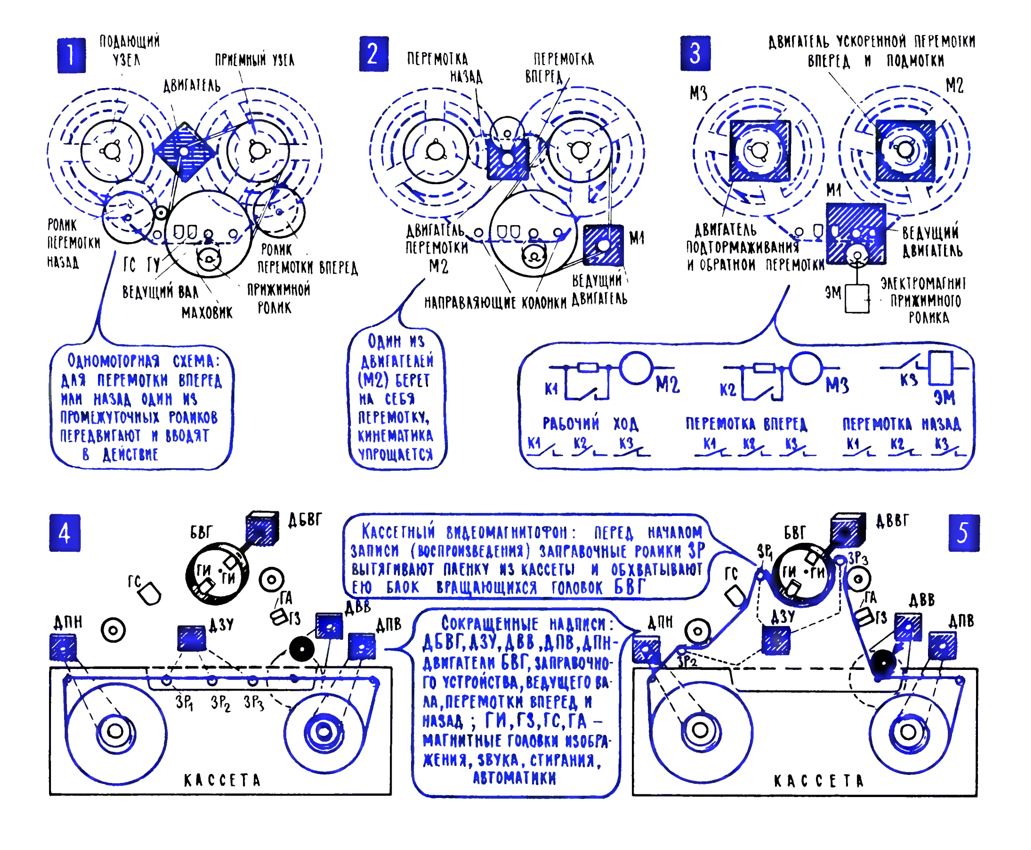
И вместе с тем задача магнитной записи видеосигнала решена, причем решена просто и остроумно: сама лента движется сравнительно медленно, переходя с одной катушки на другую, а магнитная головка, вращаясь очень быстро, с огромной скоростью «прочерчивает» на ленте параллельные магнитные дорожки с записью видеосигнала. Эти невидимые дорожки располагаются поперек пленки (Р-139; 8) либо под небольшим углом (Р-139; 9). Чтобы запись, а затем и воспроизведение сигнала шли непрерывно, используются 2 или 4 вращающиеся головки, они размещены на блоке вращающихся головок БВГ, который сидит на оси отдельного двигателя (Р-139; 6, 7).

Уже много лет на телецентрах используют, как их называют, профессиональные видеомагнитофоны, довольно большие установки, с помощью которых записывают на ленту многие программы, а затем передают их в эфир. В последние годы появились небольшие бытовые видеомагнитофоны, они предназначены для того, чтобы просматривать программы на обычном домашнем или клубном телевизоре. Типичный представитель этого класса аппаратов — советский кассетный видеомагнитофон «Электроника ВМ-12», для которого был выбран наиболее распространенный в мире стандарт «VHS». Существуют и другие стандарты («Betamax», «Video-2000» и др.), причем все они друг с другом совершенно несовместимы, в том числе по типу кассет и размещению дорожек видеосигнала. В видеомагнитофоне ВМ-12 запись ведется на ленту шириной 12,7 *мм* (Р-139; 9), она движется со скоростью

2,34 *см/с*, а БВГ обеспечивает движение головок ГИ для записи изображения относительно пленки со скоростью примерно 30 *м/с*. Это меньше, чем следует из нашего простейшего расчета,— снижение скорости намного упрощает аппарат, хотя и несколько ухудшает качество картинки.

На ленте выделено место для двух дорожек записи звука (Р-139; 9), а также для дорожки сигналов автоматики. Изображение будет устойчивым лишь в том случае, если и лента и магнитные головки на БВГ будут двигаться очень точно и равномерно. Причем требования к механическим системам предъявляются настолько жесткие (БВГ, например, не должен отклоняться от своего «расписания» даже на миллионные доли секунды), что выполнить их можно только с помощью систем электронной автоматики, управляющих скоростью и фазой вращения двигателей ведущего вала и БВГ. Четкая система автоматического управления двигателями видеомагнитофона позволяет записывать изображение очень узкими дорожками и на небольшой, размером с ладонь, кассете видеомагнитофона ВМ-12 умещается трехчасовая программа, например два полнометражных фильма.

А сейчас нам пора возвращаться к аппаратам для записи звука, и видеомагнитофон ВМ-12 дает удобный повод — идея кассет для магнитной ленты, как и многое другое, пришла в видеозапись из звукозаписи. Удобство кассет не требует особых объяснений — кассета избавляет вас от необходимости каждый раз заправлять ленту, кассеты проще хранить, чем катушки, легче находить нужную запись. Первоначально кассеты применялись в переносных магнитофонах не очень высокого класса, с учетом этого и создавался соответ-



ствующий стандарт: невысокая скорость протягивания ленты, в основном 4,76 *см/с*, иногда еще и вторая скорость для записи речи (кассетный диктофон) — 2,38 *см/с*; пленка довольно узкая (ширина 3,81 *мм*) и сравнительно тонкая (до 0,018 *мм*, из них треть приходится на ферромагнитный слой); при небольшой скорости в компактной кассете умещаются ленты на 60 или на 90 минут звучания. Удобная мелочь: на кассете есть предохранительный пластмассовый язычок (упор). Если его выломать, то в образовавшуюся нишу будет входить рычаг, отключающий при этом систему записи; таким образом, выломав предохранительный язычок, вы защищаете дорогую вам запись от случайного стирания (Р-139; 5).

Постепенно кассетные магнитофоны совершенствовались, появились аппараты четырехдорожечные и стереофонические (в них дорожки левого и правого каналов расположены рядом, и стереозапись можно проигрывать на монофоническом кассетном магнитофоне, разумеется без стереоэффекта; Р-139; 4). По качеству записи и воспроизведения «кассетники» приблизились к катушечным аппаратам первого и даже высшего класса, хотя, конечно, в катушечном магнитофоне высокое качество получают проще и, пожалуй, надежнее. И все же удобство пользования, малые габариты самого аппарата и особенно домашней фонотеки на компактных кассетах сделали «кассетник» основным типом бытового магнитофона.

Т-239

Т-239. Лентопротяжный механизм магнитофона — механическая система в мире точной электроники. Лентопротяжный механизм — один из самых сложных и самых ответственных узлов магнитофона, от него зависят многие характеристики записи и воспроизведения звука, так же как в электропроигрывателях они зависят от системы вращения диска (Т-229). Для магнитофона также опасна неравномерность движения фонограммы, детонация, а кроме того, опасны рывки, проскальзывание пленки, слишком сильное или слишком слабое ее натяжение. В магнитофонах лентопротяжный механизм должен выполнять ряд вспомогательных операций — ускоренную перемотку вперед и назад, а также подмотку пленки на приемную катушку во время записи или воспроизведения.

В некоторых магнитофонах высокого класса работают три двигателя: один из них приводит в движение систему протягивания пленки, второй — приемную катушку, третий — подающую. На второй и третий двигатели подается пониженное напряжение, и один из них с небольшим усилием подматывает пленку вперед, второй (он вращается в обратную сторону) — тормозит ее, не дает подающей кассете раскрутиться и запутать пленку. Когда же нужно осуществить быструю перемотку пленки вперед или назад, на один из вспомогательных двигателей подается полное напряжение.

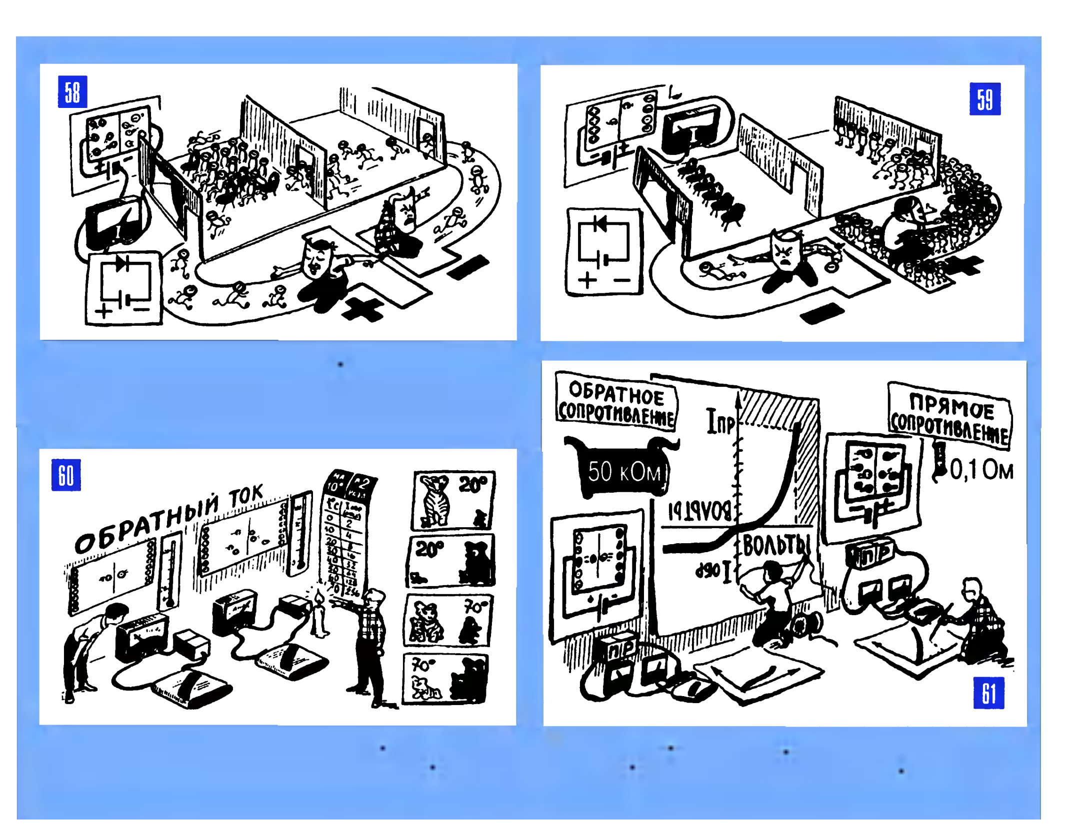
В большинстве магнитофонов среднего класса все, что требуется от лентопротяжного механизма, обеспечивает один двигатель (Р-140; 1). Он связан с приемным и подающим узлом фрикционными, то есть проскальзывающими, передачами, и только при перемотке одна из них становится жесткой, без проскальзывания. В таких магнитофонах переход с одного режима на другой, например с перемотки на рабочий ход (запись или воспроизведение), связан с рядом механических операций, в то время как при трехмоторном лентопротяжном механизме дело в основном ограничивается электрическими переключениями. В некоторых магнитофонах встречаются двухмоторные лентопротяжные механизмы (Р-140; 2), второй мотор используется для подмотки пленки и ускоренной перемотки вперед.

В большинстве лентопротяжных механизмов встречаются одинаковые по своему назначению и даже по выполнению узлы. В частности, система протя-

гивания пленки, в которую входят ведущий вал и прижимной ролик с плотно надетым на него внешним резиновым кольцом. Или рычаг, который во время перемотки отводит пленку от головок, предотвращает их стирание. А еще тормоза: они быстро останавливают некоторые вращающиеся детали, которые могут рвануть пленку и порвать ее.

Есть все эти узлы и в лентопротяжном механизме типичного бытового видеомагнитофона, упрощенная кинематическая схема которого показана на Р-140; 4, 5 (для упрощения на ней показана трехмоторная система вместо обычной одномоторной). Но есть в механике кассетного видеомагнитофона нечто такое, чего не встретишь в обычном магнитофоне, — система заправки ленты. После того как видеокассета установлена на место и нажата кнопка воспроизведения (или записи), заправочные ролики, которые приводятся в движение системой рычагов от отдельного двигателя, вытягивают ленту из кассеты и обхватывают ею блок вращающихся головок (Р-140; 5). Эта же система после нажатия на кнопку «Стоп» возвращает ленту в кассету.

Коротко рассказать о лентопротяжных механизмах магнитофонов невозможно, так много в них разных интересных конструктивных решений, им посвящено немало книг, в том числе популярных. Тот, кто захочет серьезно заняться магнитофонами, наверняка обратится к этой литературе. А нам пора, оставив в стороне красивые и совершенные механические системы, вернуться к не менее красивым и совершенным системам электронным.





ГЛАВА 15

ПО СТОПАМ КРЕМОНСКИХ ВОЛШЕБНИКОВ

Т-240 **Т-240. Используя электронные генераторы и преобразователи спектра, можно создавать музыкальные инструменты.** Примерно лет двести назад в итальянском городе Кремоне работали скрипичные мастера, чьи имена вошли в историю. Антонио Страдивари, Джузеппе Гварнери, братья Николо и Андреа Амати создавали скрипки, которые отличались поразительной красотой и силой звука. Инструменты кремонских мастеров быстро приобрели мировую известность. Они, подобно редким бриллиантам, покупались за бешеные деньги, ценились как уникальные произведения искусства, их похищали, скрывали в тайниках, секретно вывозили из страны в страну, показывали в музеях. И сегодня скрипки Страдивари, Гварнери, Амати известны все наперечет, лучшие музыканты мира добиваются права играть на этих инструментах.

Десятилетиями предпринимались попытки раскрыть секреты кремонских скрипок, выяснить, какие именно особенности конструкции, материалов, технологии изготовления формируют их неповторимые голоса. Один музыкальный журнал подсчитал, что в свое время чуть ли не дважды в месяц появлялись сообщения о раскрытии секретов скрипок Страдивари, но всякий раз оказывалось, что тайна остается тайной.

Оставив в стороне споры о том, как именно кремонские волшебники создавали свои скрипки, мы можем в самом общем виде отметить, что́ именно умели делать эти мастера. Они умели формировать спектр акустического сигнала, умели создавать в скрипке механические резонансные системы, которые подчеркивали или, наоборот, приглушали составляющие определенных частот. Может быть, кремонские мастера и не пользовались таким понятием, как частотная характеристика, но занимались они именно тем, что создавали у скрипки желаемую частотную характеристику, лепили звук желаемой формы, подобно тому, как из податливого пластилина дети лепят разные фигурки.

Очень интересные возможности создания различных тембров звучания открываются в электромузыкальных инструментах, или, как их сокращенно называют, ЭМИ. Основа этих инструментов — электрические генераторы, взявшие на себя роль струн: сигнал с генератора подается на громкоговоритель (если нужно, через усилитель) и создает звук. Высота тона, естественно, определяется частотой генератора, а тембр звучания — формой кривой генерируемого напряжения. Таким образом, в электромузыкальных инструментах можно легко менять высоту звука, изменяя элементы в цепи генератора (Т-167. Т-173. Т-177. Т-178) и тем самым меняя частоту. И кроме того, можно в широких пределах менять тембр звучания, включая между генератором и

громкоговорителем электрические цепи, влияющие на спектр сигнала, например *RC*-фильтры, резонансные фильтры, нелинейные элементы (Т-79. Т-179. Т-180).

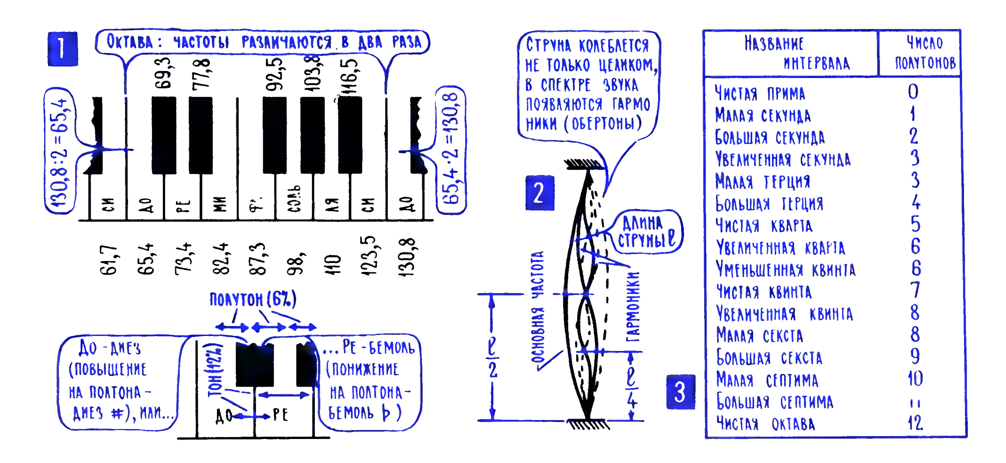
Постройка электромузыкальных инструментов и особенно формирование тембров, характера их звучания — дело очень интересное, увлекательное. Занимаясь им, наверняка можно почувствовать себя на месте кремонского скрипичного мастера, раскрывающего тайны сотворения звука: несколько простых электрических цепей, введенных в ЭМИ, создают у него звучание органа или трубы, скрипки или баяна. Результаты работы по формированию тембров во многом зависят от терпения, изобретательности, вкуса и еще от того, насколько глубоко поняты процессы в электрических цепях, насколько глубоко чувствует человек, что на что и как влияет.

Т-241. Музыкальная шкала: 88 звуков в диапазоне от 27 до 4190 *Гц*, соседние ноты отличаются по частоте примерно на 6%. Хорошо известно, что совершенная машина нашего слуха может различать звуки по их частоте. Но какие цифры стоят за этими общими словами? Если, скажем, частота изменится на 10 *Гц*, заметим мы это или нет? И сколько всего частотных интервалов могло бы обнаружить наше ухо в звуковом диапазоне? Оказывается, что человек способен уловить различие в частоте звука буквально на десятые доли процента. На низших частотах это составляет доли герца, на высоких — несколько герц. При этом в диапазоне слышимых частот от 20 *Гц* до 20 *кГц* наш слух мог бы обнаружить более двух тысяч частотных интервалов, частотных ступенек. Правда, при очень тихом звуке частота различается хуже, но и в этом случае можно было бы насчитать 500—600 частотных интервалов. А в музыке используется всего 88 звуков разной высоты, 88 разных нот. Почему так мало? Т-241

Во-первых, потому, что частотный интервал между соседними нотами составляет примерно 6%; он выбран с запасом, так, чтобы наверняка можно было отличить одну ноту от другой. Во-вторых, в музыке используется не весь слышимый диапазон, а только часть его — от 27,5 *Гц* до 4190 *Гц*. Конечно же, в спектрах музыкальных инструментов полно более высокочастотных и более низкочастотных составляющих, однако основные частоты, первые гармоники музыкальных инструментов, не выходят за пределы двух названных граничных частот.

Музыканты почти никогда не говорят о частоте звука, они присвоили каждой из 88 частот свое имя и только этим именем и пользуются. Но вот обратите внимание: разных звуков на музыкальной шкале 88, а названий у них всего семь — до, ре, ми, фа, соль, ля, си. А потом опять повторяется — до, ре, ми... и так далее. Сделано это потому, что среди 88 разных нот есть много похожих, и именно этим похожим нотам даны одинаковые названия. А чтобы можно было отличить разные ноты с одинаковыми названиями, их пишут с больших либо с малых букв, сверху или снизу помечают цифрами (К-12).

Т-242. Октава: частотный интервал между звуками, частота которых различается в два раза и звучание которых поэтому кажется похожим. Похожесть некоторых разных музыкальных звуков легко обнаруживается, если, например, прислушаться к звучанию двух разных «до» или любых других двух звуков с одинаковыми названиями. Явно слышится, что частота у двух таких одноименных звуков разная, что одно «до» намного выше другого, но в то же время явно слышится, что они чем-то очень похожи. Заметить признаки такой похожести тоже нетрудно: частота любого «до» ровно в два раза больше, чем предыдущего, и ровно в два раза меньше, чем последующего. Это отно- Т-242



Название интервала	Число полутонов
Чистая прима	0
Малая секунда	1
Большая секунда	2
Увеличенная секунда	3
Малая терция	3
Большая терция	4
Чистая кварта	5
Увеличенная кварта	6
Уменьшенная квинта	6
Чистая квинта	7
Увеличенная квинта	8
Малая секста	8
Большая секста	9
Малая септима	10
Большая септима	11
Чистая октава	12

сится ко всем одноименным нотам: у двух соседних «ре», двух соседних «ми» и так далее частота всегда различается в два раза. Этот частотный интервал — «в два раза» — называется октавой (Р-141; 1), а кроме того, октавой называют все звуки, которые лежат в пределах этого интервала, все ноты, которые находятся между двумя соседними «до».

Чтобы сделать предположение о физической природе похожести звуков с кратными частотами, достаточно посмотреть, как происходит колебание реальной струны (Р-141; 2). Струна колеблется не только целиком, но еще и своими отдельными частями, колебательные движения совершают половинки струны, четвертушки, участки, равные одной трети длины, одной пятой и так далее. Эти дополнительные колебания как раз и создают высшие гармоники в звуковом спектре струны, создают призвуки, которые определяют ее спектр, окраску звучания. А когда струна работает как приемник звука (Т-97), то она резонирует не только на основной частоте, но и на обертонах, на высших гармониках. Например, струна, настроенная на 110 *Гц*, будет резонировать и на частотах 220 *Гц*, 330 *Гц*, 440 *Гц*... Можно предположить, что наши природные акустические резонаторы, подобно струне, резонируют на высших частотах, кратных основной частоте, и особенно сильно на частотах, которые в два, в четыре, в восемь, в шестнадцать раз выше основной частоты. И можно предположить, что именно поэтому нам слышатся такими похожими одноименные ноты из разных октав.

В пределах октавы — 12 частотных ступенек «высотой» в 6% (Р-141; 1); если 12 раз последовательно увеличивать или уменьшать частоту на 6%, то в итоге получится изменение частоты на 100%, то есть в два раза.

Частотный интервал между двумя соседними нотами получил название «полутон», интервал в два полутона называется «тон». В пределах октавы — 12 полутонов, на всей музыкальной шкале — семь полных октав, и каждая из них имеет свое название (К-12; 1).

В пределах октавы частотных ступенек 12, а названий нот, как можно увидеть, всего 7, они относятся к белым клавишам рояля. Названия остальных пяти нот, которые относятся к черным клавишам, образуются с помощью приставок «диез» и «бемоль». Первая из них обозначает повышение частоты на полтона, вторая — понижение на полтона. Так, например, нота, которой соответствует частота звука 554 *Гц*, называется «до^2-диез» или «ре^2-бемоль». Знаки «диез» и «бемоль» универсальны, они сдвигают на полтона вверх или вниз любую ноту, перед которой стоят, или все ноты вообще, если находятся

в начале нотной строки, как говорят музыканты, в ключе. Знак «бекар» временно отменяет «диез» или «бемоль».

Обратите внимание, что совершенно разные ноты могут занимать одно и то же место на нотных линейках. Например, над пятой основной линейкой может быть «си» (246,9 *Гц*) и «соль^2» (784 *Гц*), на первой нижней дополнительной линейке может быть «ми» (82,4 *Гц*) и «до^1» (261,6 *Гц*). Указание о том, как именно в данном конкретном случае нужно читать ноты, дает скрипичный или басовый ключ в начале нотной строки. Если бы не такое двукратное использование линеек, то их нужно было бы иметь намного больше и нотная запись получилась бы более громоздкой.

Т-243. Одновременное звучание двух нот в зависимости от соотношения между их частотами может быть благозвучным (консонанс) или неблагозвучным (диссонанс). Одновременное звучание двух нот с интервалом в октаву, то есть звуков, частóты которых различаются в два раза, создает ощущение единого слитного звука. Называется такое созвучие «совершенным консонансом», то есть идеально согласованным звучанием (Р-141; 3). Кроме совершенного консонанса, наблюдаются еще и другие благозвучные сочетания, они появляются в том случае, когда оказываются согласованными некоторые гармоники двух звуков. Так, например, консонансом в какой-то степени можно считать чистую квинту, при которой частота 3-й гармоники одного звука совпадает с частотой 2-й гармоники другого. Пример: третья гармоника «ля» малой октавы имеет частоту $220 \cdot 3 = 660$ *Гц*, вторая гармоника «ми^1» первой октавы имеет частоту $329{,}6 \cdot 2 \approx 660$ *Гц*. Созвучие «ля-ми», как и другие созвучия с интервалом в семь полутонов, называется квинтой, его вполне можно считать консонансом, хотя и несовершенным. К числу несовершенных консонансов относятся кварта и терция, все остальные созвучия — диссонансы, то есть несогласованные, неблагозвучные звукосочетания. Т-243

Возможно, вы обратили внимание, что в нашем числовом примере квинта получается неточная, частота второй гармоники «ми^1» лишь приблизительно равна 660 *Гц*. Первые исследователи музыкальной шкалы, а этой проблемой занимался еще Пифагор, ввели в нее точные консонирующие интервалы, точные квинты, кварты, терции. Применительно к нашему числовому примеру это значит, что для «ми^1» выбрана частота 330 *Гц*, а не 329,6 *Гц*, однако частотные ступеньки между соседними нотами при этом получались неодинаковыми и в звучании музыки часто слышалась фальшь. Около двухсот пятидесяти лет назад немецкий ученый и музыкант Андреас Вейкмейстер путем довольно сложных вычислений построил так называемую двенадцатиступенную равномерно темперированную шкалу, в которой высота всех частотных ступенек одинакова и в то же время имеются интервалы, очень близкие к консонансам — квинте, кварте, терции. Именно таким музыкальным строем пользуется и современная музыка.

Т-244. Гармония, ритмы, тембры — важные выразительные средства музыки. Точные физиологические механизмы воздействия музыки на человека пока неизвестны, и иногда кажется, что это даже хорошо: кто знает, не утратит ли своей прелести и силы волшебство музыки, разобранное на части, выраженное в схемах, графиках, формулах? Но в то же время физиологи, физики, математики, изучающие человека, его мышление и психику, неизбежно касаются процессов и явлений, связанных с музыкой, вносят некоторую ясность в их понимание. Так, например, выявлены некоторые особенности восприятия консонирующих и диссонирующих созвучий, на которых основана сложная система музыкальных созвучий, то, что мы называем гармонией. Установлено, Т-244

например, что восприятие созвучий связано с нелинейными процессами в самом ухе, с появлением в нем различных комбинационных частот: если два звука подводить порознь к левому и правому уху, то вообще невозможно заметить ни консонансов, ни диссонансов. Музыканты же построили совершенную теорию гармонии, в которой рассматриваются самые разные созвучия, аккорды, различные последовательности звуков во времени и те ощущения, с которыми связаны сочетания музыкальных звуков.

Наряду с гармонией в основании музыки лежат ритмы. Марш, вальс, галоп, колыбельная — уже эти примеры напоминают, какую важную роль в музыке играют ритмические рисунки, сложное чередование акцентов, пауз, звуков различной продолжительности. Не только в музыке, но и в стихах и даже в разговорной речи слух выделяет, а мозг оценивает ритмы. Вполне возможно, что восприятие музыкальных и речевых ритмов связано с ходом наших внутренних «биологических часов», сложных биохимических систем, отбивающих такт для отдельных клеток и целых органов, определяющих ритм жизни.

Наконец, еще одно важнейшее выразительное средство музыки — спектральный состав, тембровая окраска звука. Она прежде всего зависит от того, каким способом создается звук, какой музыкальный инструмент является его источником.

Т-245 **Т-245. Каждый из большого многообразия струнных, духовых и ударных музыкальных инструментов отличается своим характером звучания, тембровой окраской.** Все струнные инструменты в зависимости от того, каким образом приводится в движение струна, делят на смычковые (скрипка, виолончель), щипковые (гитара, арфа) и клавишно-ударные (рояль). Можно предположить, что у всех у них был один далекий предок: туго натянутая тетива лука. Сама по себе струна создает слабый звук — уже на расстоянии двух-трех метров он почти не слышен. Потому что струна, даже самая толстая, увлекает за собой сравнительно небольшую массу воздуха. Чтобы вовлечь в движение большие массы воздуха, струну объединяют с излучателем, имеющим значительную колеблющуюся поверхность. У скрипки, гитары, контрабаса такой излучатель — это сам корпус инструмента, у рояля — резонансная дека (доска), над которой натянуты струны. Излучатель, резонируя на разных частотах, усиливает, подчеркивает определенные гармоники колебаний струны, окончательно формирует тембр. Те области частотного спектра, которые подчеркиваются, усиливаются инструментом, называются формантами. Звучание инструмента сильнейшим образом зависит от ширины формантных областей, от того, на какую часть спектра они приходятся. Так, например, у знаменитых скрипок Страдивари главная форманта находится в области 3200—4200 *Гц*, а у рядовой скрипки — в районе 2200—2800 *Гц* (Р-142; 1).

Основное звучащее тело в духовых инструментах — столб воздуха. В зависимости от того, каким образом он приводится в движение, различают духовые инструменты язычковые (кларнет, гобой, саксофон, фагот) и безъязычковые (флейта, свирель). В язычковых инструментах потоки воздуха заставляют колебаться упругий язычок, тонкую деревянную, металлическую или тростниковую пластинку, и сложная колебательная система «язычок — столб воздуха» определяет звучание инструмента. К язычковым относят и так называемые амбушюрные инструменты (труба, тромбон, пионерский горн), где роль колеблющегося язычка выполняют определенным образом сложенные губы музыканта. К язычковым духовым инструментам, строго говоря, нужно отнести баян, гармонь, аккордеон: здесь металлические язычки приводятся в движение воздухом, который нагнетают мехи.

Безъязычковые духовые инструменты часто называют свистковыми: звук возникает в них примерно так же, как и в обычном свистке. Быстрый поток воздуха, зацепившись за острый край так называемой губы, начинает колебаться и возбуждать звуковые колебания всего воздушного столба. Точно так же создается звук во многих органных трубах. В старинных орга́нах воздух нагнетали большими мехами, а сейчас для этого используют мощные электрические вентиляторы. Органист, нажимая на клавиши, переключает потоки воздуха, подает их на разные трубы, меняя высоту и тембр звука. В современном органе несколько тысяч труб, самые низкочастотные имеют длину более 10 *м*, самые высокочастотные — около 1 *см*. Во всех же остальных духовых инструментах только одна труба, и для изменения высоты звука меняют ее действующую длину. Для этого с помощью клапанов, а иногда с помощью пальцев перекрывают отверстия в самой трубе (кларнет, фагот), направляют воздушный поток в ее ответвления (труба, валторна) или меняют длину трубы с помощью выдвижного колена (тромбон). Кроме того, можно менять частоту, пользуясь различными приемами вдувания воздуха, как это делают, например, горнисты.

В спектре ударных инструментов составляющие расположены так близко друг к другу, что и их приходится рассматривать как сплошные полосы частот. Тембр звучания зависит от того, как распределяется мощность между участками такой полосы.

Т-246. В одноголосом ЭМИ в каждый момент времени может звучать только одна нота, мелодия формируется из последовательных звуков. Одно из эффективных выразительных средств музыки — аккорды, то есть одновременное звучание нескольких нот. Чтобы звучал аккорд, нужно иметь несколько одновременно работающих источников звука, например несколько струн. В рояле их 88 (вообще-то струн намного больше, каждая клавиша ударяет по двум-трем одинаково настроенным струнам, что придает особую окраску звуку), и поэтому здесь возможны огромные многозвучные аккорды. Рояль — многоголосый инструмент. В гитаре 7 струн, и в принципе гитарные аккорды могут быть семизвучными. А вот на трубе или на саксофоне аккорда не возьмешь: это одноголосые инструменты. **Т-246**

Электромузыкальные инструменты тоже бывают одноголосыми и многоголосыми. В одноголосом ЭМИ только один генератор, в нем с помощью клавиатуры или иным способом переключают элементы схемы, которые определяют частоту (Р-143; 1). В таком одноголосом ЭМИ аккорды звучать не могут, он поет только одним голосом, как флейта, как человек.

В качестве генератора одноголосого ЭМИ часто используется мультивибратор. Правда, в симметричном мультивибраторе (Р-99; 1) изменением одного элемента, например изменением сопротивления одного из резисторов, удается менять частоту в сравнительно небольших пределах, в лучшем случае в два раза. Попытка одним элементом схемы изменить частоту в больших пределах настолько меняет режим мультивибратора, что может просто наступить срыв колебаний. Чтобы в симметричном мультивибраторе изменять частоту хотя бы на две октавы (в четыре раза), нужно переключать несколько схемных элементов, а это уже неудобно.

На Р-99; 4 показана схема мультивибратора, частоту которого можно легко менять в четыре — восемь раз (две-три октавы), меняя сопротивление только одного резистора $R_э$. Такой генератор часто можно встретить в ЭМИ, особенно в простых (К-2, К-14). Если такой генератор работает в клавишном одноголосом ЭМИ, то для каждой клавиши должно быть свое сопротивление резистора $R_э$. Поэтому $R_э$ составляют из большого числа резисторов,

и настройка инструмента сводится к подбору каждого из них с таким расчетом, чтобы при нажатии на клавишу ЭМИ давал звук нужной частоты.

В одноголосых ЭМИ могут применяться блокинг-генераторы (Р-100), генераторы *RC* (Р-98) и *LC* (Р-97); последние, правда, в простых схемах встречаются довольно редко. В частности, потому, что менять частоту и производить настройку инструмента подбором конденсаторов или катушек сложней, чем подбором резисторов. Единственный несложный способ изменения частоты *LC*-генератора — это использование катушки с отводами и точно рассчитанной индуктивностью отдельных секций. Но такая система не позволяет простыми средствами подстраивать частоты, соответствующие отдельным клавишам. Значительные трудности связаны также с тем, что для получения низких частот нужны большие индуктивности: снизить частоту только за счет увеличения емкости нельзя, может оказаться слишком низкой добротность контура (Т-96).

Первым электронным музыкальным инструментом был терменвокс, много лет назад его изобрел и построил молодой петроградский физик Лев Термен. В 1921 году в Кремле изобретатель демонстрировал свой терменвокс Владимиру Ильичу Ленину, а спустя несколько лет совершил много гастрольных поездок по стране и миру, с большой концертной программой выступал в лучших залах Парижа, Берлина, Нью-Йорка, Лондона. Терменвокс — одноголосый инструмент, звуковая частота в нем получается с помощью двух высокочастотных генераторов, сигналы которых подаются на нелинейный элемент, детектор. В результате появляется разностная частота (Т-182. Т-219), которую вгоняют в низкочастотный диапазон, меняя частоту одного из высокочастотных генераторов. И таким же способом, изменяя одну из высоких частот, переходят от одной ноты к другой. В терменвоксе управление высокочастотным генератором производится весьма эффектно: в контур одного из генераторов включен штырь, и, приближая к нему руку, исполнитель меняет емкость контура, меняет одну из высоких частот, а значит, и разностную, низкую частоту (Р-143; 3). Терменвокс и сегодня можно встретить на концертной эстраде, главным образом в ансамблях электромузыкальных инструментов, его нетрудно изготовить и самому (К-11).

Несмотря на то, что одноголосый инструмент не дает аккордов, звучание его может быть очень эффектным. Все зависит от того, какие тембры удается

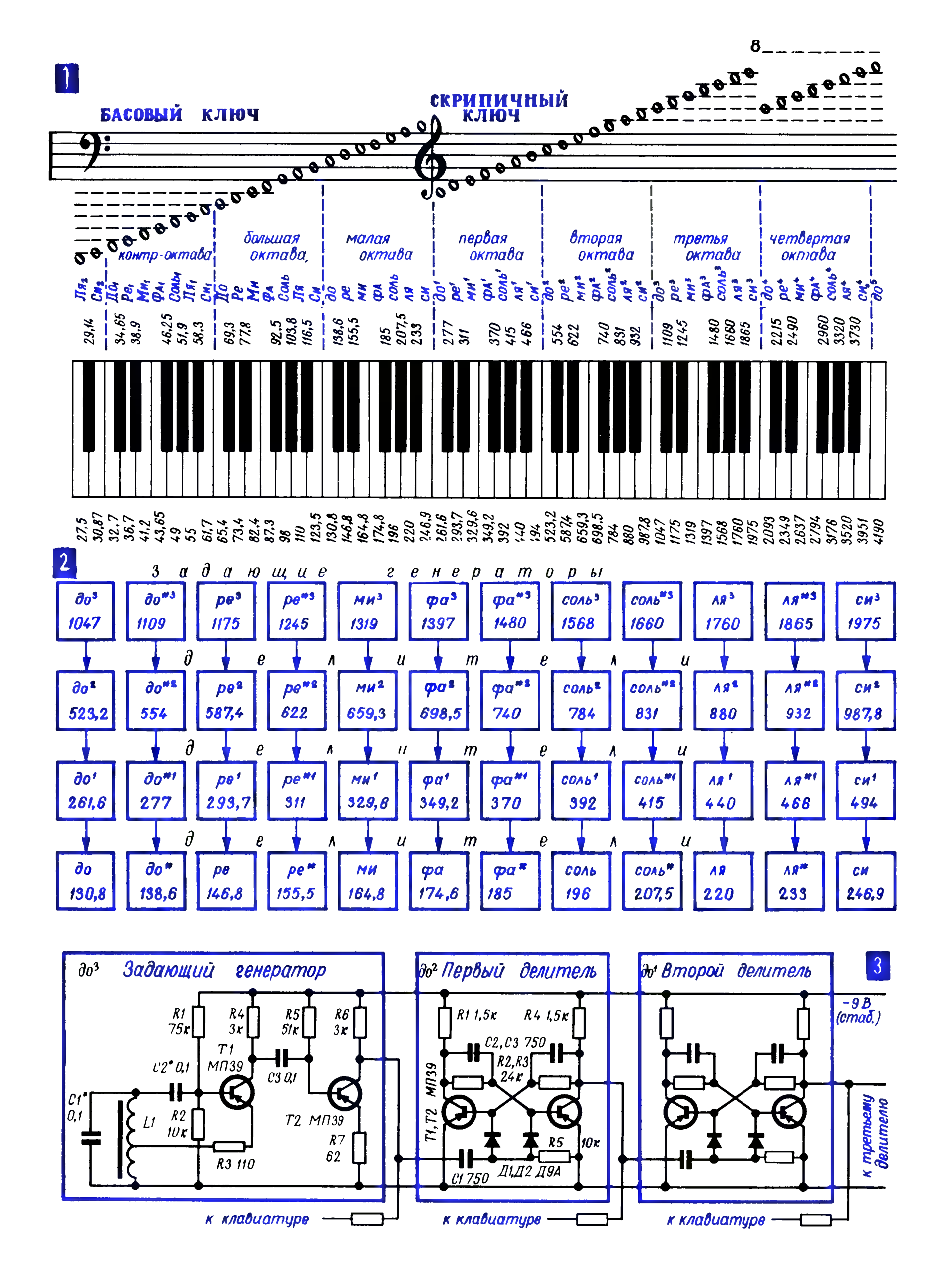
К-12

К-12. МНОГОГОЛОСЫЙ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ (ЭМИ)

1. Музыкальная шкала. На этом рисунке показана клавиатура рояля и частоты, соответствующие той или иной клавише. Чтобы исполнитель мог брать на ЭМИ любые звукосочетания, любые аккорды, нужно, чтобы каждая клавиша включала отдельный независимый источник электрического сигнала, имеющий частоту согласно К-12; 1.

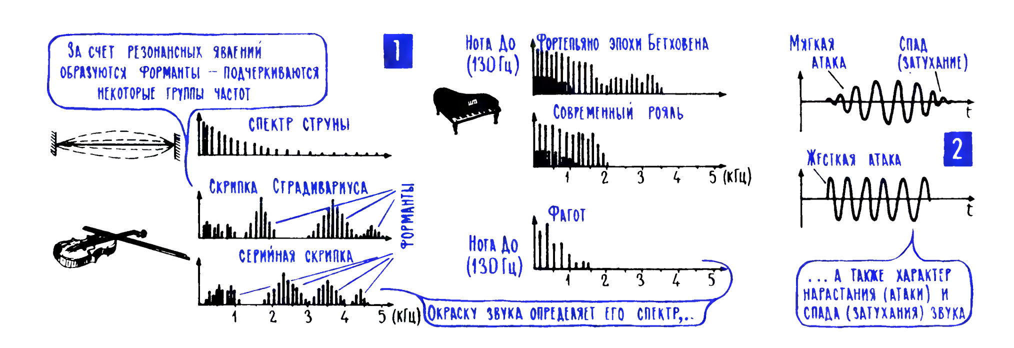
2. Блок-схема ЭМИ. Делать отдельные генераторы для каждой ноты, для всех частот музыкальной шкалы нецелесообразно, хотя бы потому, что каждый такой генератор придется отдельно подстраивать. Блок-схема многоголосого ЭМИ, как правило, строится так: в нем есть 12 генераторов самой высокой октавы (в нашем примере от «до^3» — 1047 *Гц* до «си^3»—1975 *Гц*), а за генератором следует цепочка делителей частоты «на два». Каждый из делителей уменьшает подведенную к нему частоту в два раза и таким образом сдвигает частоту ровно на октаву вниз. Если правильно настроены сами генераторы, то, значит, настроен весь инструмент: делитель дела не испортит, он всегда делит частоту на два. Двенадцать генераторов одной октавы с цепочками делителей могут перекрыть всю музыкальную шкалу (Т-248).

3. Схема цепочки «генератор — делитель — делитель...». Здесь сам генератор основного тона собран по трехточечной схеме, его частота определяется параметрами контура L1, C1. Катушку удобнее всего намотать в ферритовом «горшке» (К-4;3) с сердечником,



чтобы при настройке легче было подогнать частоту генератора. В крайнем случае (это не очень удобно) в качестве L1 можно использовать выходной или согласующий трансформатор от транзисторного приемника и для получения нужной частоты подбирать емкость контура C1. Так, например, с трансформатором от «Селги» (500 + 500 витков провода 0,08; вторая обмотка не используется) для получения частоты 1975 *Гц* «си^3» нужна емкость C1 около 0,001 *мкФ*, а для частоты 1047 *Гц* «до^3» — около 0,004 *мкФ*. Ну и наконец, генератором может быть мультивибратор, например по схеме К-14;1. Второй каскад T2 — усилитель-формирователь, он приближает форму сигнала к прямоугольным импульсам, которые нужны для нормальной работы делителей частоты — триггеров. Число триггеров, конечно, можно увеличить, расширив тем самым диапазон инструмента.

Р-142



создать. Здесь уместно вспомнить одноголосый музыкальный инструмент московского инженера А. Володина «Эквадин В-8», который на Всемирной выставке в Брюсселе в 1957 году получил высшую награду «Гран-при». В этом инструменте десятки тембров, легким нажатием нескольких кнопок, заменой определенных электрических цепей можно в огромных пределах менять тембр «Эквадина», имитировать звучание скрипки, виолончели, фагота, органа, трубы и многих других инструментов.

Т-247 **Т-247. Для формирования тембров используются нелинейные элементы, фильтры, формантные фильтры, элементы изменения атаки, умножители и делители частоты.** Наш слух хорошо чувствует малейшие изменения в спектре звука. Достаточно сказать, что человек с хорошим слухом замечает 10—15 гармоник звукового сигнала. Музыканты различают в звучании оркестра или хора голоса отдельных певцов, отдельных инструментов. Рассказывают, что известный дирижер Артуро Тосканини однажды остановил репетицию большого симфонического оркестра и сделал замечание какому-то скрипачу: в его скрипке одна из струн была слегка расстроена. Острый слух замечает даже небольшие изменения в цепях электромузыкального инструмента, в которых формируется его тембр. Однако резкие изменения тембра, например переход от мягкого звучания органа к резкому звучанию трубы, требуют резких изменений формы сигнала, серьезных изменений в цепях формирования тембров.

Одна из возможностей резко изменить форму сигнала — его нелинейное искажение. Осуществить его можно многими разными способами. Можно, например, оставить усилительный каскад без смещения и «срезать» один из полупериодов (Р-144; 1, 2) или, резко увеличив уровень сигнала на входе усилителя, ограничить его по максимуму и по минимуму. В формирователе тембров удобно иметь трансформатор, с его помощью легко включить ограничивающий диод или двухполупериодный мостовой выпрямитель (К-14), который вообще делает сигнал неузнаваемым. Некоторые изменения в таком выпрямителе, нарушающие симметрию схемы, тоже довольно резко меняют характер звучания.

Заметно влияют на характер звучания различные фильтры, в том числе и простейшие — фильтр $R_{ф2}C_{ф2}$, срезающие высшие частоты и фильтр $R_{ф1}C_{ф1}$, срезающий низшие частоты (Р-144; 3). И совсем уже резко меняют характер звука формантные фильтры, настроенные на ту или иную частоту звукового диапазона. Простейший формантный фильтр получается, если к обмотке трансформатора с большим числом витков подключить конденсатор (Р-144; 4). Подбирая его емкость C_1; $C_1 + C_2$, можно менять частоту настройки фильтра. С помощью шунтирующего сопротивления $R_ш$ можно менять добротность фильтра, а значит, остроту резонансной кривой и ширину подчер-

киваемой полосы частот (Р-144; 5). Заметный эффект дает применение двух или трех формантных фильтров, настроенных на разные частоты (Р-144; 5).

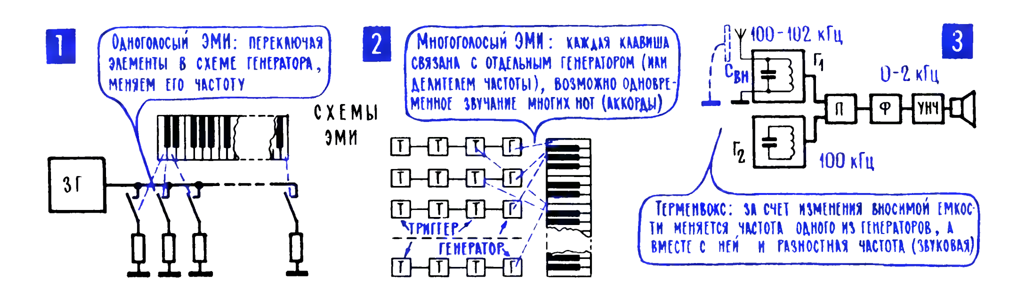
У всякого музыкального звука различают три части — атаку, установившуюся, стационарную часть и спад. Характер звучания зависит в очень сильной степени от того, как нарастает и спадает звук, от характера атаки и спада (Р-142; 2). Был проделан такой опыт: музыкантам предложили прослушать запись нескольких разных инструментов, причем звук включали после окончания атаки, во время установившегося звучания. И оказалось, что даже опытные музыканты при этом путали один инструмент с другим.

Изменение атаки — задача непростая. В простейшем случае она решается с помощью *RC*-цепочек, которые после нажатия клавиши начинают заряжаться (или разряжаться) и постепенно открывают один из транзисторов, усиливающих сигнал (К-2; 6).

Очень сильно меняет характер звучания подмешивание к основному сигналу других сигналов, с иными частотами и спектрами. Проще всего такое подмешивание осуществить с помощью триггеров, которые делят частоту основного генератора (Т-181). С помощью триггера можно ввести в спектр сигнала составляющие с частотой в два, четыре, восемь раз более низкой, чем основная частота. А можно увеличить уровень сигнала одного из триггеров, сделать его основным, и тогда получится, что к нему подмешиваются составляющие с более высокими частотами (Р-144; 7).

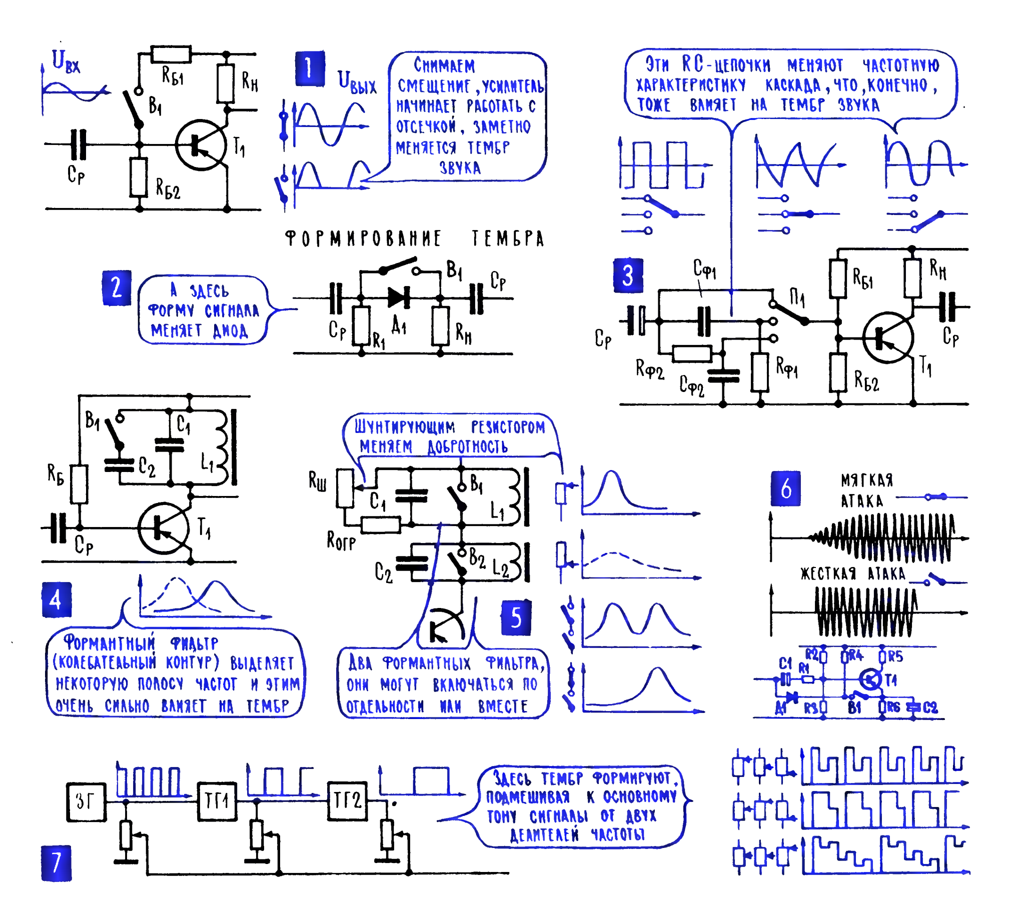
Такая же тактика — деление частоты с помощью триггера — широко используется в многоголосых электромузыкальных инструментах.

Т-248. В многоголосом ЭМИ одновременно может работать большое число источников сигнала, возможны различные звукосочетания, аккорды. Казалось бы, есть только один путь создания многоголосого ЭМИ: в нем нужно иметь для каждой ноты свой собственный генератор так же, как в рояле для каждой ноты есть своя струна. Однако, используя триггеры, можно создать многоголосый ЭМИ по другой схеме, имея в инструменте всего 12 генераторов — для всех нот одной, самой высокочастотной октавы. А затем частоту каждого генератора можно делить с помощью триггера и перейти к следующей, более низкочастотной октаве. Таким образом, имея 12 генераторов и 12 триггеров, можно получить двухоктавный многоголосый ЭМИ; добавив к нему еще 12 триггеров, увеличить число октав до трех и так далее (К-12). Можно сказать, что инструмент, выполненный по такой схеме, имеет 12 цепочек — «до», «до-диез», «ре», «ре-диез» и так далее, и в каждой цепочке есть свой генератор и триггеры, которые меняют основную частоту в два раза, переводят ноту в следующую октаву (Р-143; 2). По числу элементов и по сложности схемы многоголосый ЭМИ с делителями частоты практически не отличается от инструмента с отдельными генераторами на каждую ноту. Т-248



Р-143

Р-144



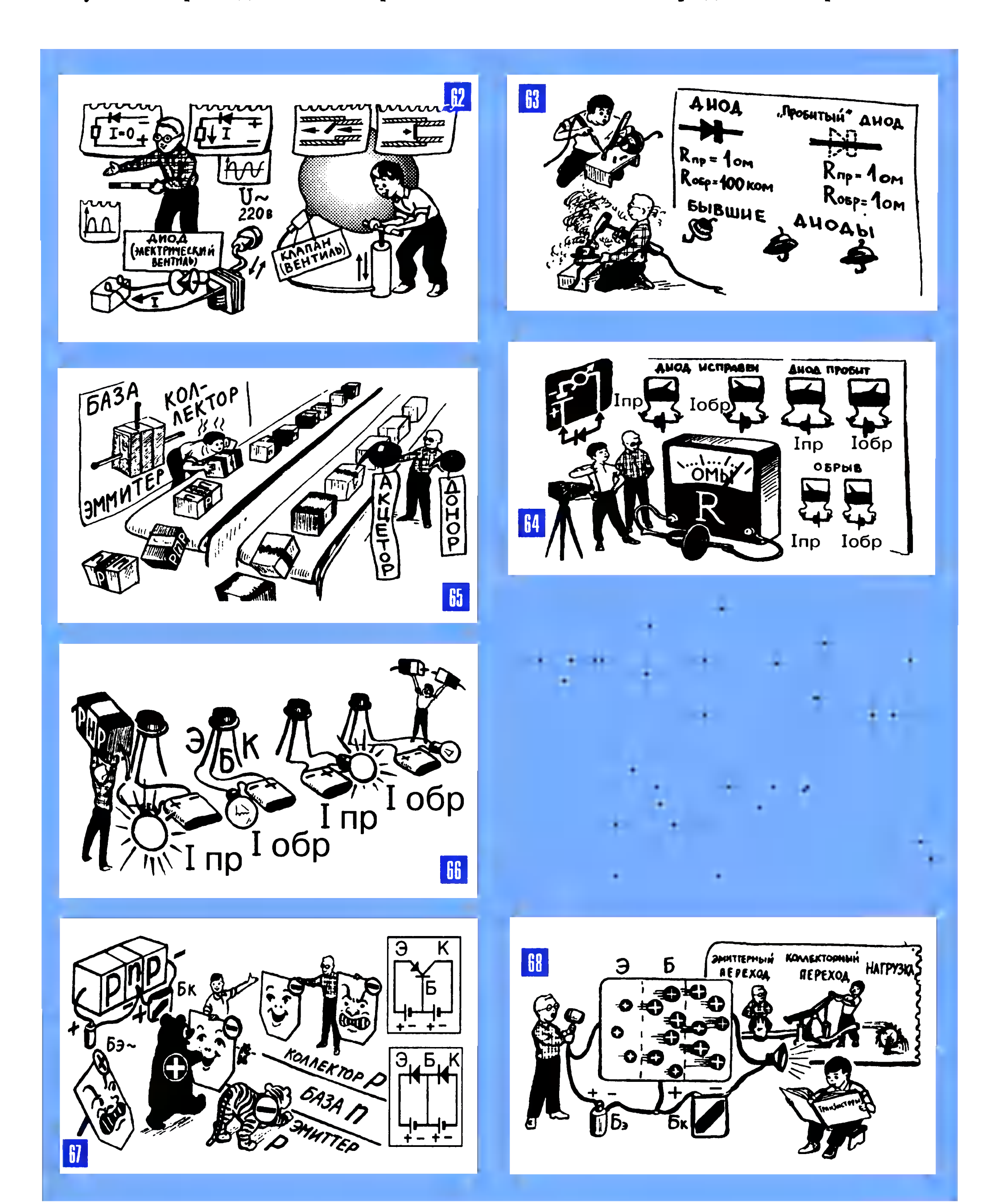
Но зато система с делением частоты имеет одно важное достоинство, связанное со стабильностью настройки инструмента. Как правило, частота генератора с течением времени может несколько измениться, например из-за изменения магнитных свойств сердечника катушки в *LC*-генератора или сопротивления резисторов в мультивибраторе. В инструменте, где на каждую ноту имеется отдельный генератор, возможности расстройки довольно велики: расстроиться может каждый из генераторов. К тому же первоначально настроить такой инструмент тоже непросто: нужно подгонять элементы схемы в каждом из генераторов. А в инструменте с делителями нужно подбирать и подстраивать частоту только 12 генераторов: если основные генераторы будут настроены точно, то триггеры автоматически разделят их частоту на два, на четыре, на восемь... Настроив 12 генераторов, мы настраиваем весь инструмент.

Для многоголосых инструментов сохраняют свою силу все рекомендации по формированию тембров, причем здесь открываются богатейшие возможности подмешивания частот, которые в многоголосом ЭМИ имеются в большом ассортименте (Р-144; 7).

Здесь, разумеется, были сообщены лишь самые предварительные сведения об электромузыкальных инструментах. Более обширная информация о них имеется в нескольких популярных книгах. Кроме того, для знакомства с этой интересной областью электроники может оказаться весьма полезным

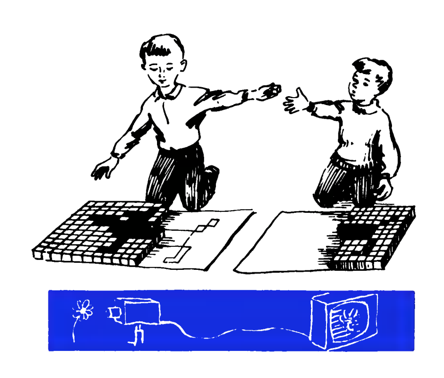
самостоятельное конструирование электромузыкальных инструментов, пусть даже не очень сложных (К-2. К-11. К-14).

Электромузыкальными инструментами мы завершаем знакомство с устройствами для передачи, записи, воспроизведения и синтезирования звука и переходим к электронным системам для передачи изображения.



ГЛАВА 16

ПЕРЕДАЕТСЯ КАРТИНКА



Т-249

Т-249. Любое изображение можно представить в виде большого числа точек определенной яркости. Любую картинку, которую мы видим, можно представить себе как сложную мозаику из мельчайших светящихся точек, как некоторое количество отдельных источников света различной яркости, определенным образом расположенных в пространстве (Р-145). И передать такую картинку на большое расстояние — это значит в месте приема заставить светиться такое же количество светоизлучателей с таким же точно расположением в пространстве и с такой же яркостью, как это было у самой передаваемой картинки. Забудем пока о цвете и объеме, попробуем в мысленном эксперименте создать систему передачи плоской черно-белой (точнее, одноцветной, монохромной) картинки.

Одно из решений задачи — система из светочувствительного экрана с большим числом фотоэлементов и светоизлучающего экрана с большим числом источников света, например лампочек (Р-145; 1). Фотоэлементы и лампочки в строгом порядке расположены на своих экранах и соединены между собой попарно: каждая точка светочувствительного экрана соединена с точно такой по месту расположения точкой светоизлучающего экрана. Поэтому по каждой линии связи в виде электрического сигнала передается информация о яркости одной из точек картинки. А все комплекты фотоэлемент — линия связи — лампочка воссоздают на светоизлучающем экране точечную копию картинки, изображение, сотканное из отдельных светящихся точек, или, иначе, растровое изображение (в оптике растром называют решетку, разбивающую картинку на элементы).

Растровая копия истинной картинки будет тем точнее, тем четче, чем больше элементов в растре (Р-145; 3). Человеческий глаз может видеть очень мелкие детали картинки, и чтобы ее копию сделать неотличимой от сложного и четкого оригинала, нужно было бы иметь растр из десятков миллионов точек.

Но обычно изображение кажется нам достаточно четким, если оно содержит несколько миллионов элементов (примерно такую четкость имеет изображение на экране кино) или даже несколько десятков тысяч элементов (четкость газетной фотографии). В соответствии с принятым в нашей стране стандартом телевизионная картинка может состоять примерно из полумиллиона элементов разной яркости. При этом чувствуется растровая структура картинки, особенно если посмотреть на экран вблизи, однако изображение получается достаточно четким. Но, конечно же, осуществить телевизионную передачу по системе, которую мы выбрали в своем первом мысленном эксперименте, было бы невозможно. Хотя бы потому, что трудно представить себе

канал связи, состоящий из полумиллиона отдельных соединительных линий. Например, представить себе, что в каждую квартиру входит телевизионный кабель, в котором полмиллиона проводов.

Т-250. Развертка изображения: элементы картинки передаются поочередно по одному каналу связи. В современных системах передачи изображения, таких, как телевидение или фототелеграф, картинка передается по одной линии связи. Сама идея передачи картинки по одному проводу чрезвычайно проста: информация о яркости элементов изображения передается поочередно — сначала на приемном экране воссоздается яркость одной точки, затем другой, затем третьей и так далее (Р-145; 2). Для этого на передающей и на приемной стороне имеются переключатели, коммутаторы, которые подключают к линии связи сначала одну пару фотоэлемент — лампочка, затем другую, затем третью, четвертую, пятую... В итоге в линию идет серия электрических сигналов и каждый из них несет информацию о яркости одной из точек картинки.

Т-250

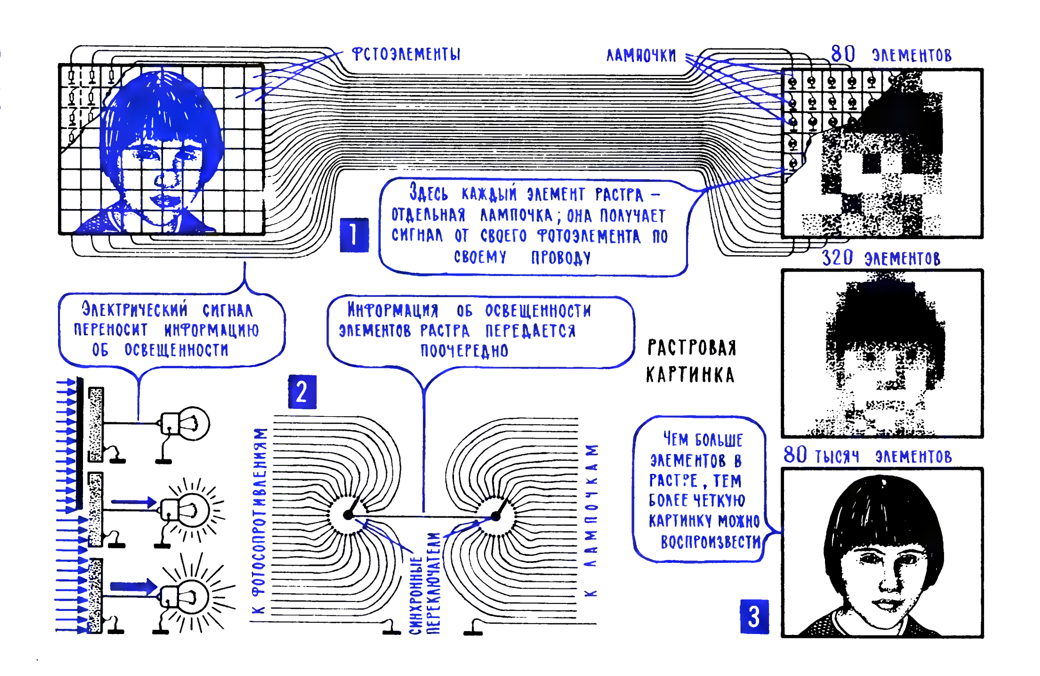
Чтобы такая система работала четко, необходимо выполнить два условия. Во-первых, нужно, чтобы сами лампочки обладали некоторой световой инерцией, чтобы лампочка светилась хотя бы некоторую часть паузы — с того момента, как коммутатор отключился от нее, и до того момента, когда снова придет ее очередь присоединиться к линии связи. Во-вторых, и это самое главное, нужно, чтобы сам коммутатор не вносил путаницы, чтобы переключатели на передающей стороне и на приемной стороне действовали согласованно, чтобы они соединяли фотоэлемент только с его лампочкой и ни с какой другой. А для этого оба переключателя должны двигаться по контактам синхронно и синфазно, должны двигаться с одной и той же скоростью, в каждый момент должны касаться контактов одной и той же пары фотоэлемент — лампочка.

Подобную систему можно осуществить для передачи картинки, разбитой на сотни тысяч и миллионы элементов, но, конечно, при столь большом числе элементов растра используются не механические переключатели, а электронные.

Т-251. Передающая телевизионная трубка: большое количество фотоэлементов, поочередно включаемых электронным лучом. На Р-146; 1 очень упрощенно показано устройство одной из разновидностей передающей телевизионной трубки — иконоскопа. Ее основа — мозаичный фотокатод, пластинка, покрытая мельчайшими светочувствительными серебряно-цезиевыми крупинками, каждая из которых фактически представляет собой микроскопический фотоэлемент. Картинка, которую нужно превратить в серию электрических сигналов, с помощью объектива проектируется на светочувствительную мозаику фотокатода. При этом каждая крупинка-фотоэлемент получает свою порцию света и, как полагается фотоэлементу, создает свою электродвижущую силу, пропорциональную освещенности: чем больше света падает на крупинку-фотоэлемент, тем большую э.д.с. она вырабатывает. В итоге на фотокатоде создается невидимая электрическая картинка, повторяющая картинку световую. И острый электронный луч, двигаясь по фотокатоду от одной его точки к другой, прочерчивает всю эту электрическую картинку и поочередно подключает крупинки-фотоэлементы к нагрузке. А значит, по мере движения луча по резистору нагрузки $R_н$ идет ток, в котором отражена освещенность той или иной точки фотокатода. То есть по мере движения электронного луча происходит развертка изображения, по нагрузке идут серии электрических сигналов. Последовательно, точку за точкой они описывают на электрическом языке картинку, которую нужно передать (Р-145; 2).

Т-251

Р-145



Это, конечно, очень упрощенный рассказ о событиях в иконоскопе и его устройстве, в действительности все происходит сложней и интересней. Так, например, электронный луч сразу считывает информацию с большого числа светочувствительных крупинок, а не с одной. Современная технология в принципе позволяет создать на фотокатоде светочувствительные точки строго определенных размеров и расположенные в строгом порядке. Однако намного проще делать фотокатод с беспорядочно расположенными, но зато очень мелкими светочувствительными крупинками, значительно более мелкими, чем один элемент растра. В этом случае одним элементом растра, одним фотоэлементом оказывается сразу несколько светочувствительных крупинок, попадающих в сферу действия электронного луча.

А вот другая интересная подробность: главную роль в поочередном подключении крупинок-фотоэлементов к сопротивлению нагрузки играют вторичные электроны. Их выбивает из фотокатода электронный луч, а собирает кольцо-коллектор. Количество вторичных электронов, выбитых с какого-либо участка фотокатода, зависит от того, насколько интенсивно этот участок освещен. Именно вторичные электроны, частично ответвляясь на сопротивление нагрузки, создают в нем ток, пропорциональный освещенности той или иной точки фотокатода.

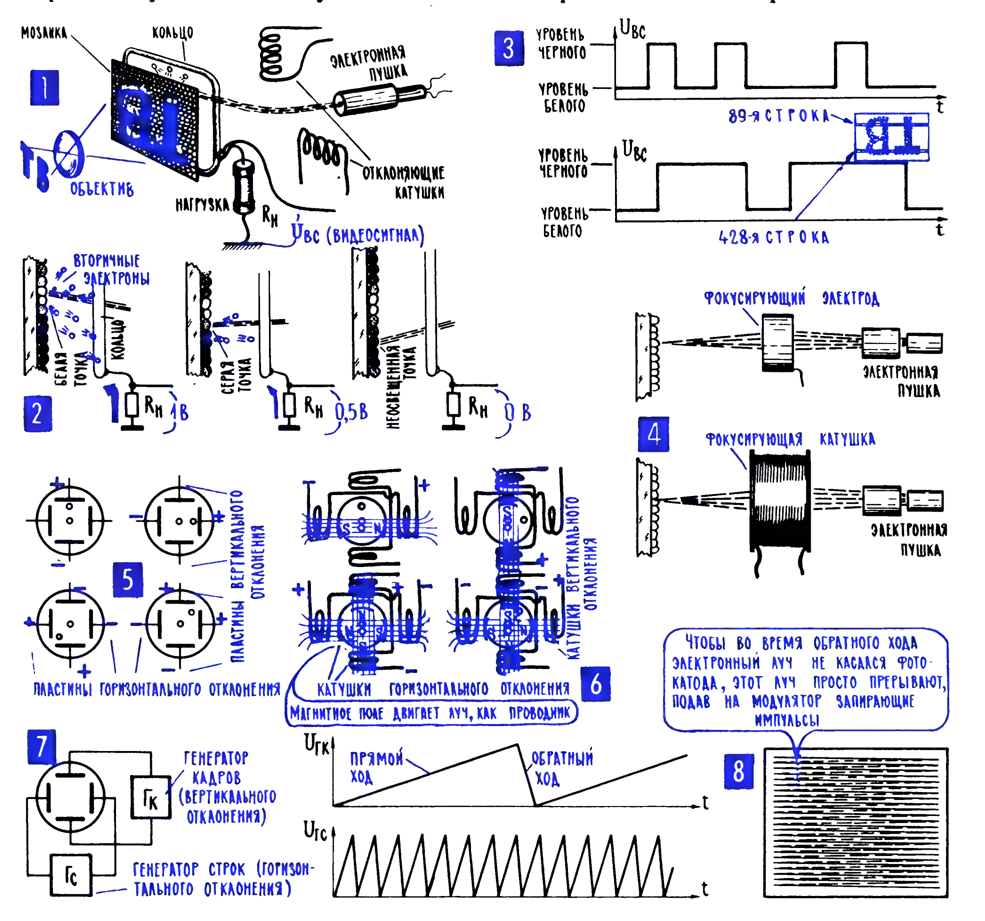
Т-252 **Т-252. В электронно-лучевой трубке формирование и отклонение электронного луча осуществляется электрическими или магнитными полями.** Электронный луч, который в иконоскопе осуществляет развертку изображения, формируется в несколько приемов. В какой-то части иконоскоп, как и другие электронно-лучевые трубки, похож на многоэлектродную усилительную лампу (Т-154). Источник электронов, как всегда, раскаленный катод, роль анода выполняет кольцо-коллектор, на котором относительно катода действует большой «плюс». Правда, если в лампе электроны, вылетевшие с катода, сами попадают на анод, то в трубке они достигают кольца-коллектора с пересадкой, точнее, даже с заменой. Быстрые и собранные в острый луч первич-

ные электроны проскакивают сквозь кольцо, ударяют в фотокатод, из него вылетают медленные вторичные электроны, которые собираются на кольце-коллекторе под действием притягивающего «плюса». Это самый настоящий динатронный эффект (Р-91; 6), но, в отличие от лампы, здесь он не мешает нормальной работе, а работает сам.

Прежде всего электроны проходят сквозь отверстие в управляющем электроде (его часто называют модулятором или еще управляющим цилиндром), который играет ту же роль, что и управляющая сетка в усилительной лампе. Меняя напряжение на управляющем электроде, мы меняем интенсивность электронного потока, меняем количество электронов, образующих луч, то есть меняем ток луча.

Затем электроны проходят отверстие в ускоряющем электроде, который иногда называют первым анодом. Назначение ускоряющего электрода отражено в самом его названии: на этот электрод так же, как и на кольцо-коллектор, подан большой «плюс», который разгоняет электроны, дает им энергию, чтобы пройти через все последующие испытания.

Следующий цикл обработки электронного потока — фокусировка, собирание электронов в узкий луч, который сходится в точку на самом светочувствительном экране. Фокусировка бывает электростатическая и магнитная. В первом случае используется то, что электрон обладает отрицательным за-



рядом и его можно смещать в пространстве, действуя электрическим полем — «плюс» подтягивает электроны к себе, «минус» их отталкивает. Для электростатической фокусировки в трубку вводится еще один — фокусирующий электрод (Р-146; 4). На него подается некоторое постоянное напряжение, и оно, вместе с напряжениями на других электродах, так отклоняет движущиеся электроны, чтобы луч сфокусировался, сжался в точку в самой плоскости фотокатода.

В системах магнитной фокусировки используется то, что движущийся заряд обладает магнитным полем (Т-47), а значит, на него можно влиять внешним магнитным полем. Фокусирующая катушка расположена снаружи трубки, она изгибает траекторию электронов совсем не так, как фокусирующий электрод, но конечный результат получается таким же (Р-146; 4). Точную фокусировку можно получить, меняя внешнее магнитное поле, то есть меняя ток в фокусирующей катушке.

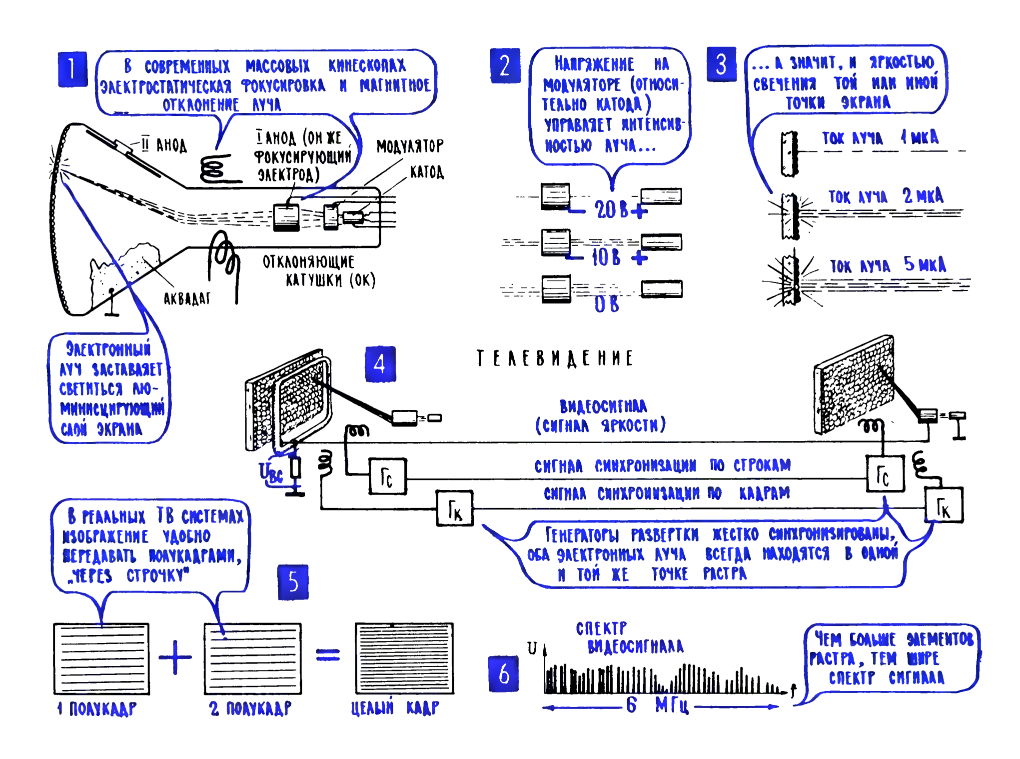
Следующая операция — отклонение луча в пространстве, она также осуществляется с помощью электрических или магнитных полей. В телевизионных системах производится построчная развертка изображения: луч строку за строкой прочерчивает экран в горизонтальном направлении, постепенно смещаясь вниз. Чтобы перемещать электронный луч, достаточно иметь две системы отклонения — горизонтальную и вертикальную (Р-146; 5, 6). Первую из них называют строчной разверткой, вторую — кадровой разверткой. В трубках с электростатическим отклонением имеются две пары пластин (Р-146; 5); меняя напряжение, которое к ним прикладывается, можно перемещать луч вверх-вниз и влево-вправо. Точно так же магнитное отклонение луча осуществляется расположенными вне трубки отклоняющими катушками (Р-146; 6): меняя в них ток, меняют и магнитное поле, отклоняющее электронный луч (Р-36).

Т-253 **Т-253. Генераторы кадровой и строчной развертки дают пилообразные напряжения разной частоты.** Для отклонения луча в комплекте с трубкой согласованно работают два генератора — кадровый и строчный. Первый из них дает меняющееся напряжение, которое сравнительно медленно сдвигает луч сверху вниз, второй дает меняющееся напряжение, которое заставляет луч сравнительно быстро двигаться справа налево, прочерчивать строку за строкой. Чтобы луч двигался равномерно и всем точкам фотокатода уделял одинаковое внимание (Т-8), задерживался на каждой из них одно и то же время, нужно, чтобы к отклоняющим пластинам подводилось пилообразное, то есть равномерно нарастающее, напряжение (Р-146; 7).

Прочертив строку, луч должен очень быстро вернуться в исходное положение и начать считывание следующей строки. Точно так же кадровая пила, переместив луч через весь фотокатод сверху вниз, должна быстро поднять луч обратно, вверх, и начать новый цикл прочерчивания строк. Во время обратного хода луч может внести путаницу, вторично попадая на одни и те же точки светочувствительного катода. Чтобы этого не случилось, на время обратного хода луч убирают, подав запирающее напряжение на управляющий электрод.

Таковы в общих чертах процессы развертки изображения в передающей трубке, процессы, в результате которых картинка превращается в видеосигнал $U_{вс}$.

Т-254 **Т-254. Приемная трубка (кинескоп): электронный луч прочерчивает люминофорный экран, создает в разных точках свечение различной яркости.** Иконоскоп в принципе не изменил нашу первую систему преобразования световой картинки в электрические сигналы (Р-145; 2): и в том, и в другом случае



использовался один и тот же физический процесс, просто фотоэлементы перестали быть самостоятельными деталями, а превратились в мельчайшие светочувствительные точки на фотокатоде. Что же касается приемного светоизлучающего экрана, то здесь не отделаешься простым уменьшением лампочек накаливания.

Для создания световой копии картинки используются особые вещества — люминофоры, которые светятся под действием электронной бомбардировки. Яркость такого свечения тем больше, чем выше энергия электронов и чем больше их попадает в люминофор за единицу времени. То есть если направить на люминофорную точку электронный луч, то можно менять ее яркость, изменяя ток луча (Р-147; 2, 3). Ну, а дальше уже, как говорят шахматисты, дело техники. Создается электронно-лучевая трубка с люминофорным экраном — кинескоп (Р-147; 1). На этот экран направляют острый электронный луч и заставляют его прочерчивать строку за строкой, двигаясь синхронно и синфазно с лучом иконоскопа. Одновременно меняют ток луча в кинескопе в соответствии с информацией, поступившей от иконоскопа (Р-147; 4). В тот момент, когда луч иконоскопа считывает информацию с сильно освещенного участка фотокатода и по нагрузке $R_н$ идет сравнительно большой ток, то растет напряжение $U_{вс}$, которое «плюсом» подается на модулятор кинескопа (Р-147; 4) и уменьшает действующий там «минус» смещения (часто видеосигнал $U_{вс}$ подается на катод кинескопа, что также меняет напряжение между модулятором и катодом). При этом увеличивается ток луча в кинескопе и на его экране появляется яркая точка. А поскольку оба луча — в иконоскопе и в кинескопе — всегда находятся в одних и тех же точках растра, то картинка на люминофорном экране кинескопа оказывается точной копией картинки на фотокатоде иконоскопа.

В устройстве кинескопа (Р-147; 1) узнается много знакомых деталей.

Катод, управляющий электрод (именно на него подается сигнал, который меняет ток луча, меняет яркость свечения точек экрана), ускоряющий электрод (первый анод), фокусирующий электрод, катушки вертикального и горизонтального отклонения луча (на них подаются отклоняющие пилообразные напряжения строчной и кадровой развертки). Роль второго, главного анода в кинескопе выполняет аквадаг — токопроводящее покрытие, нанесенное изнутри на стекло трубки, на второй анод подается очень высокое напряжение — 15, иногда и 20 тысяч вольт. Эти цифры не требуют комментариев: работая с телевизором, занимаясь его налаживанием или ремонтом, *нужно соблюдать чрезвычайную осторожность!*

Первичные электроны, то есть быстрые электроны самого луча, на второй анод не попадают — они ударяют в люминофорный экран, заставляют его светиться и при этом выбивают из экрана медленные вторичные электроны. Вот их-то и собирает второй анод (Р-147; 1) и отправляет обратно к источнику высокого напряжения. Этот процесс имеет принципиальное значение: если бы не выбрасывание вторичных электронов, то на люминофорном экране накапливались бы электроны самого луча и через некоторое время у экрана был бы гигантский отрицательный заряд. Таким образом, в кинескопе так же, как и в иконоскопе, замкнутая электрическая цепь создается с участием вторичных электронов.

Теперь, имея в своем распоряжении комплект-минимум, необходимый для передачи изображения, мы можем несколько более подробно рассмотреть работу всей системы, познакомиться с ее важнейшими характеристиками и с теми требованиями, которые нужно выполнить, чтобы картинка на экране кинескопа действительно была копией картинки на фотокатоде иконоскопа.

Т-255

Т-255. Для передачи движущихся изображений необходима частая смена кадров. Если бы понадобилось передавать неподвижное изображение, как, скажем, в фототелеграфе, то с передачей одного кадра, одной целой картинки можно было бы не спешить: имея кинескоп с достаточно большим послесвечением люминофора, каждый кадр можно было бы передавать несколько секунд, а то и несколько минут. Другое дело, если нужно передавать движущееся изображение — в этом случае, как и в кино, кадры должны часто сменять друг друга, время на передачу одного кадра составляет доли секунды. В кино смена кадров происходит 24 раза в секунду, почти такая же частота — 25 кадров в секунду — принята и для телевидения. Правда, в телевидении, для того чтобы уменьшить мелькания картинки, передаются не целые кадры, а полукадры и сменяют они друг друга в два раза чаще. Сначала, например, передаются все четные строки (первый полукадр), потом все нечетные (второй полукадр), потом опять все четные (первый полукадр) и так далее. При этом число полных кадров остается таким же, как в кино (то есть 25 кадров в секунду), а картинка меняется в два раза чаще (50 раз в секунду), что как раз и уменьшает мелькания экрана (Р-147; 5). Что же касается отделения четных строк от нечетных, поочередной передачи полукадров и точного размещения строк на экране, то подобные задачи в электронных схемах решаются не очень-то сложными методами.

Итак, с кадровой разверткой все более или менее ясно: генератор кадровой развертки должен давать пилообразное напряжение с частотой 50 *Гц*.

Теперь несколько слов о количестве строк и частоте генератора строчной развертки.

Т-256

Т-256. С увеличением числа строк возрастает четкость картинки, однако одновременно сильно расширяется спектр телевизионного сигнала. Тот факт,

что четкость изображения зависит от числа строк, не требует, по-видимому, особых пояснений: чем больше строк прочерчивает луч в иконоскопе, а значит, и в кинескопе, тем тоньше каждая строка и тем более мелкие детали картинки могут быть переданы (Р-145). В разных странах существуют разные телевизионные стандарты, выбрано разное число строк телевизионного растра. В Великобритании, например, 405 строк, в США и Канаде — 525 строк, во Франции — 819 строк. В Советском Союзе, Венгрии, Польше, ГДР, Чехословакии, Болгарии и многих других странах стандартом установлено разделение кадра на 625 строк.

В принципе можно было бы передавать изображение с более высокой четкостью, чем это предусмотрено мировыми стандартами, телевизионная техника позволяет прочерчивать кадр тысячами и даже десятками тысяч строк. Однако повышение четкости, увеличение числа строк не достается даром, оно сопровождается расширением спектра телевизионного сигнала (Р-147; 6).

Спектр телевизионного сигнала не остается постоянным, в процессе передачи он меняется и зависит от того, какая картинка, какое изображение в данное время передается. Чем мельче детали картинки, тем чаще меняется ток в процессе развертки изображения, тем, следовательно, выше частота телевизионного сигнала. В реальной картинке могут быть детали самых разных размеров, и в спектре телевизионного сигнала могут быть самые разные частоты.

Будем считать, что нижняя граница спектра начинается от нуля, то есть от постоянной составляющей (в действительности так оно и есть, в спектре должны быть не только чрезвычайно низкие частоты, доли герца, но и постоянная составляющая: в ней отражены очень медленные изменения средней яркости), и попробуем определить, чему же равна наивысшая частота спектра, его верхняя частотная граница. Чтобы подсчитать эту наивысшую частоту, представим себе, что передается картинка в виде шахматной доски с мельчайшими клеточками, размер каждой клеточки равен высоте строки (Р-148; 1). Расчет будем вести для нашего стандарта, то есть для кадра, разделенного на 625 строк. Если бы кадр был квадратным, то на нем разместилось бы $625 \cdot 625 \approx 390\,000$ клеточек. А поскольку кадр продолговатый, соотношение его сторон по стандарту равно 4:3, то клеточек будет процентов на 30 больше, то есть примерно 520 000.

Это значит, что по мере развертки такого изображения уровень сигнала на выходе иконоскопа будет меняться 520 000 раз. Если предположить, что черным клеточкам соответствует один положительный полупериод телевизионного сигнала, а белым — отрицательный и что луч иконоскопа обегает этот кадр за 1 *с*, то окажется, что телевизионный сигнал имеет частоту 260 *кГц*. Но это еще не все: в действительности за 1 *с* передается не один кадр, а 25, и максимальная частота оказывается еще в 25 раз выше, то есть примерно составляет 6 *МГц*. Конечно же, такая картинка, как шахматная доска из полумиллиона микроскопических клеточек, никогда не передается, но мелкие детали размером с толщину строки, как правило, есть на любой картинке. Информация об этих деталях как раз и передается высокочастотными составляющими спектра (Р-148; 2).

Из нашего простейшего расчета видно, что с увеличением числа строк резко (в квадрат раз) возрастает высшая частота спектра, а это влечет за собой дополнительные трудности в усилении и преобразовании телевизионного сигнала. Не говоря уже о том, что увеличивается полоса частот, которую должен занимать в эфире телевизионный передатчик (Т-207).

Четкость изображения принято оценивать числом вертикальных линий, которые еще можно различить в картинке. Горизонтальные линии, сами строки ни о чем не говорят, они появляются на экране кинескопа в результате развертки, и строчная структура растра прекрасно видна даже в том случае, когда никакой картинки нет вообще. На испытательной таблице имеется рисунок с расходящимися вертикальными линиями или с параллельными линиями разной толщины, и возле этого рисунка стоят цифры, которые говорят о том, какому числу строк эквивалентна данная четкость. Если четко различаются линии в районе цифры 550, то это значит, что картинка имеет четкость, какая была бы при разделении растра на 550 строк. А если различаются линии в районе цифры 625, то, значит, картинка передается с максимально возможной четкостью. Практически максимальную четкость увидеть никогда не удается — либо на самом передатчике, либо в приемнике, в его усилителях, резонансных фильтрах или в антенне самые высшие частоты телевизионного сигнала заваливаются, и это, конечно, приводит к снижению четкости (Р-149; 3).

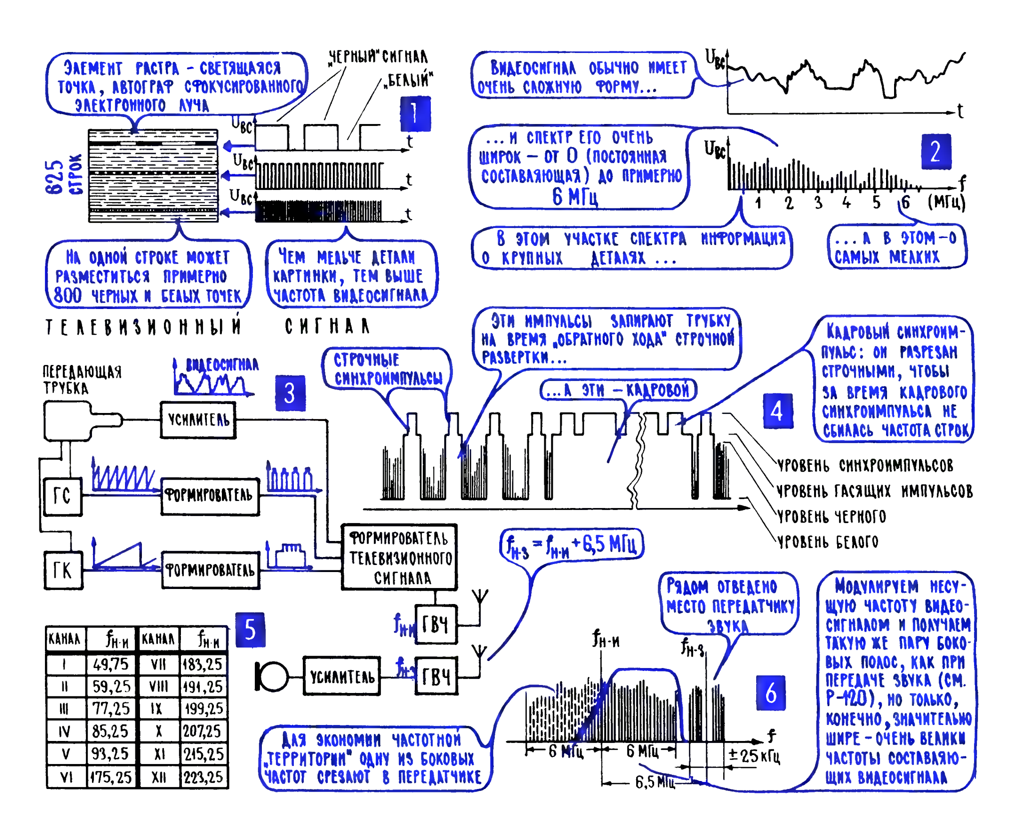
T-257

Т-257. Телевизионные передачи могут вестись только на ультракоротких волнах. В нашей системе передачи изображения передающая трубка и приемная пока связаны проводами (Р-147; 4). По этим проводам идет то, что мы называем видеосигналом,— меняющийся ток (напряжение) с очень широким спектром, от постоянной составляющей до примерно 6 *МГц*. Такую систему можно сравнить с передачей электрической копии звука по телефонным проводам (Т-111). А чтобы передавать телевидение без проводов, нужен еще канал радиосвязи — передатчик с антенной, излучающей радиоволны, и приемник, улавливающий эти радиоволны и вновь превращающий их в электрический сигнал (Т-205).

Когда передавался звук, то высокочастотный ток в радиопередатчике модулировался звуковым сигналом, модулировался низкочастотным током, а в приемнике детектор выделял этот низкочастотный ток. Те же самые операции нужно проделать и с электрической копией картинки, с видеосигналом, который появляется на выходе передающей телевизионной трубки (Р-148; 3). Но есть большая разница между передачей по радио звукового и телевизионного сигнала, причем прежде всего разница количественная: спектр видеосигнала в несколько тысяч раз шире, чем спектр звукового сигнала. Для нормальной модуляции нужно, чтобы несущая частота радиопередатчика была бы по крайней мере в несколько раз выше, чем максимальная модулирующая частота. Это значит, что для передачи видеосигнала, наибольшая частота которого, как мы только что подсчитали, 6 *МГц*, нужен передатчик с несущей частотой в несколько десятков мегагерц, то есть передатчик, работающий на ультракоротких волнах (Т-208).

Если бы при передаче изображения, как это было при передаче звука, излучались обе боковые полосы частот (Т-207), то каждый телевизионный передатчик занимал бы в эфире полосу частот больше 12 *МГц*, столько же, сколько понадобилось бы для 1200 радиотелефонных передатчиков. Чтобы уменьшить полосу частот, занимаемую телепередатчиком, одну из его боковых полос в антенну не пускают, и в эфир излучается только одна боковая полоса частот. При этом, кстати, не только по частотной шкале размещается в два раза большее число передатчиков, но еще и упрощается телевизионный приемник, или, как мы все его называем, телевизор. Одновременно с видеосигналом на близкой к нему частоте передается звуковое сопровождение (Р-148; 6), причем для улучшения качества звука — с частотной модуляцией (Т-205).

Р-148



КАНАЛ	$f_{Н\cdot И}$	КАНАЛ	$f_{Н\cdot И}$
I	49,75	VII	183,25
II	59,25	VIII	191,25
III	77,25	IX	199,25
IV	85,25	X	207,25
V	93,25	XI	215,25
VI	175,25	XII	223,25

Для телевизионных передач сначала было выделено 12 частотных каналов в диапазоне метровых волн (Р-148; 5), а затем к ним добавили еще 60 каналов в диапазоне дециметровых волн. Из-за особенностей распространения ультракоротких волн (Т-208) телевизионные передачи можно принимать только на расстоянии прямой видимости или немного дальше. Чтобы расширить зону уверенного приема, передающую антенну стараются поднять повыше, но даже антенны, установленные на верхушке высочайшей Останкинской телевизионной башни, создают зону уверенного приема радиусом до 120—150 *км*. Передача телевизионных программ на большие расстояния ведется по радиорелейным или кабельным линиям или через искусственные спутники Земли (Р-121; 4); их антенны подняты уже настолько высоко, что перебрасывают ультракороткие волны на многие тысячи километров.

Между прочим, в том, что ультракороткие волны распространяются только на сравнительно небольшие расстояния, кроме недостатков, есть одно важное достоинство — удаленные телепередатчики могут работать на одних и тех же частотах, не мешая друг другу. Поэтому в разных городах страны совершенно разные программы передаются на одних и тех же телевизионных каналах, и двенадцати каналов хватает для многих сотен телепередатчиков.

Т-258

Т-258. Основные узлы телевизора — преобразователь частоты с переключением каналов, усилитель ПЧ, детекторы звука и изображения, видеоусилитель, усилитель НЧ, генераторы строчной и кадровой развертки, системы синхронизации и питания. Когда-то телевизионные приемники строились по разным схемам, были и приемники прямого усиления, и сдвоенные супергетеродины с двумя самостоятельными каналами промежуточной частоты —

для звукового сигнала и сигнала изображения. Все современные телевизоры строятся по так называемой схеме одноканального приема, которая очень упрощенно показана на Р-149. Первый каскад телевизора — усилитель ВЧ, второй — преобразователь частоты. Оба каскада находятся в едином блоке, переключателе телевизионных каналов ПТК (некоторые его образцы назывались переключателем телевизионных программ ПТП).

В первых двух каскадах одновременно включены два колебательных контура — один из них настроен на частоту сигнала и, как всегда, ослабляет возможную зеркальную помеху (Т-223), второй — контур гетеродина. Поскольку каждый телевизор рассчитан на прием всех 12 каналов, то в ПТК имеется 12 пар контуров, по 2 контура (входной и гетеродинный) на каждый канал (Р-149; 2). Переключатель подсоединяет к схеме одну из этих пар, и таким образом осуществляет переход с одного канала на другой. Все контуры еще на заводе настроены на нужные частоты, но частоту гетеродина можно менять в небольших пределах конденсатором точной настройки.

В последние годы вместо ПТК или ПТП используют, как их называют, селекторы каналов — СКМ (метровый диапазон) и СКД (дециметровый диапазон). В типичном селекторе каналов шесть пар катушек, четыре метрового диапазона и две дециметрового. В каждой паре катушек одна входит во входной контур, вторая — в контур гетеродина. Причем у каждой пары катушек свои элементы плавной настройки — варикапы, полупроводниковые диоды, специально предназначенные на роль конденсаторов переменной емкости. Емкость варикапа изменяется при изменении подводимого к нему постоянного напряжения. Для каждой пары контуров имеется свой потенциометр, с помощью которого меняют напряжение на варикапах, меняют настройку контуров. Владелец телевизора предварительно настраивает контуры в каждом из шести каналов селектора на те телевизионные каналы, которые принимаются в данном районе. После этого для перехода с одной программы на другую достаточно просто переключить уже настроенную пару контуров, что делается легким нажатием кнопки.

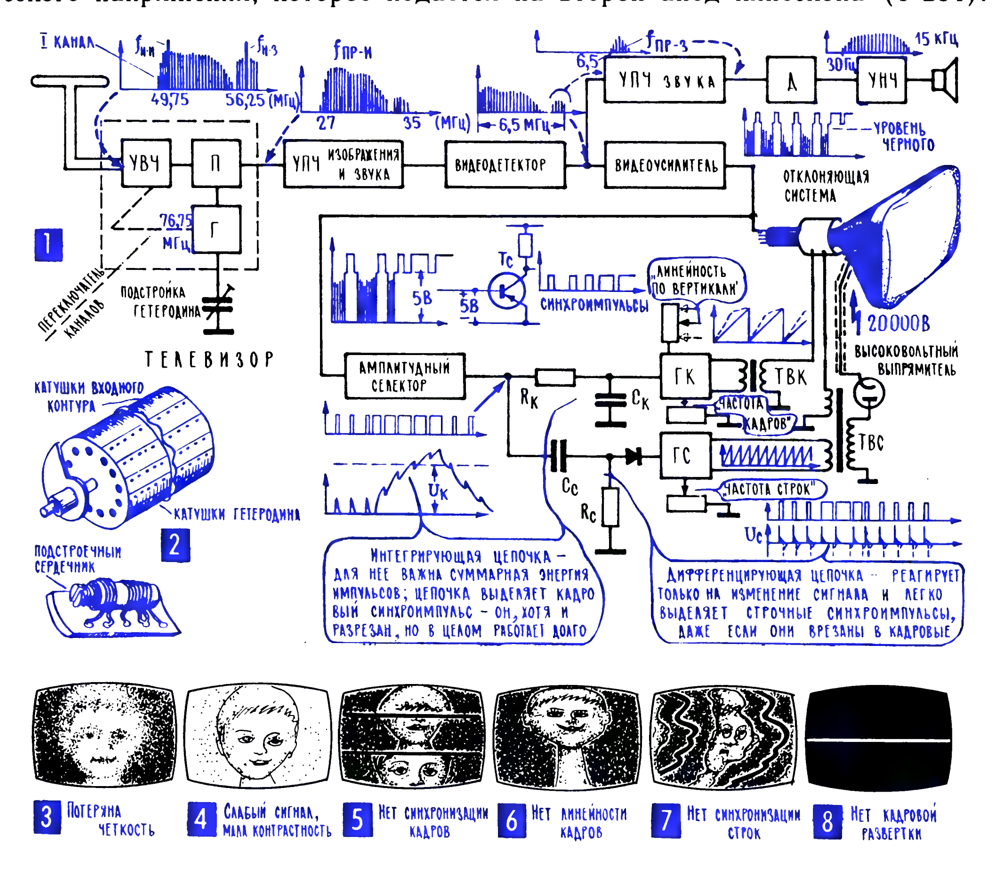
После преобразователя в телевизоре, как и в приемнике, получается сигнал промежуточной частоты (Т-219), причем в телевизоре частота эта весьма высокая — 38 *МГц* (несущая),— а усилитель ПЧ пропускает очень широкую полосу частот — около 7 *МГц*. В этой полосе оказываются и видеосигнал, и звуковой сигнал, каждый, разумеется, со своим участком спектра промежуточной частоты. После усилителя ПЧ весь сигнал промежуточной частоты целиком поступает на нормальный амплитудный детектор (видеодетектор). Здесь из высокочастотного модулированного сигнала выделяется сам видеосигнал — копия того самого меняющегося тока, который появлялся на нагрузке иконоскопа и в котором поэтому зашифрована информация о всех элементах картинки. Эта электрическая копия картинки подается на видеоусилитель, а с него прямо на управляющий электрод УЭ кинескопа или на катод (при заземлении УЭ). С этого командного пункта видеосигнал управляет током электронного луча и меняет яркость свечения различных точек люминофорного экрана, по мере того как электронный луч движется по этому экрану.

Что же касается звука, то для него прием идет по схеме с двойным преобразованием частоты (Т-226) — вторым преобразователем здесь по совместительству работает сам видеодетектор, в нем рождается сигнал второй промежуточной частоты звука (6,5 *МГц*). Причем он появляется как бы сам собой, без какого-либо вспомогательного генератора, без гетеродина, который мы привыкли видеть в любом преобразователе частоты. Роль гетеродина в дан-

ном случае берет на себя несущая частота сигнала изображения: именно она вместе с самим сигналом, носителем звука, создает вторую разностную частоту, вторую промежуточную частоту звука. С помощью фильтров ее отделяют от видеосигнала, направляют в дополнительный усилитель ПЧ (его называют усилителем ПЧ звука, сокращенно УПЧЗ, в отличие от основного усилителя промежуточной частоты, который называют усилителем ПЧ изображения, УПЧИ), затем на частотный детектор (Т-206), усилитель НЧ и громкоговоритель.

На упрощенной схеме телевизора имеется еще несколько узлов, о которых даже в рамках нашего ультракороткого рассказа нужно обязательно сказать несколько слов. Это прежде всего генераторы развертки, которые дают пилообразные напряжения каждый своей частоты — кадровый (ГК) 50 *Гц*, строчный (ГС) 15 25 *Гц*. Через отклоняющие обмотки современных больших кинескопов нужно пропускать значительный ток, обычно несколько ампер. И мощность в отклоняющих обмотках потребляется тоже немалая — в кадровой около ватта, а в строчной 15—20 ватт. Поэтому каждый блок развертки содержит два каскада — собственно генератор (мультивибратор или чаще блокинг-генератор) и усилитель на сравнительно мощной лампе или мощном транзисторе.

От усилителя строчной развертки требуется некоторая дополнительная мощность — он по совместительству используется еще и для получения высокого напряжения, которое подается на второй анод кинескопа (Т-254).



Р-149

Получить необходимые для кинескопа 12—20 тысяч вольт можно, конечно, и с помощью обычного трансформатора, но при этом нужна вторичная (повышающая) обмотка из десятков тысяч витков (в некоторых первых телевизорах был такой высоковольтный трансформатор, очень громоздкий и тяжелый). Достоинства использования строчной развертки для получения высокого напряжения станут понятными, если вспомнить, что э.д.с., которая находится в катушке в результате электромагнитной индукции, зависит от скорости изменения — именно от скорости изменения! — тока в катушке (Т = 58; Т = 59). А в этом отношении строчную развертку можно считать рекордсменом телевизора: во время обратного хода луча, для того чтобы после очередной строки быстро переместить луч в обратную сторону с одного конца экрана до другого (Т-253), ток в катушках горизонтального отклонения приходится менять в больших пределах и с огромной скоростью. И такой быстро меняющийся ток даже в катушке со сравнительно небольшим числом витков может навести огромное напряжение.

В усилителе строчной развертки имеется выходной трансформатор (трансформатор выходной строчный, сокращенно ТВС), с одной из его обмоток пилообразное напряжение подводится к отклоняющим катушкам. В строчном трансформаторе есть повышающая обмотка, с которой напряжение подается на выпрямитель (иногда высоковольтный электровакуумный диод, кенотрон, Т-281), а с него через фильтр на второй анод кинескопа. Именно благодаря высокой скорости изменения тока во время обратного хода, на этой повышающей обмотке, имеющей всего несколько сот витков, получается напряжение в полтора — два десятка киловольт, и сам строчный трансформатор представляет собой сравнительно небольшую деталь.

Как бы точно мы ни подгоняли частоту генераторов кадровой и строчной развертки, она будет в какой-то степени меняться в процессе работы телевизора. Например, из-за прогрева деталей или из-за небольшого изменения питающих напряжений. И при этом уже никак не получится согласованная развертка, согласованное движение лучей в передающей трубке (иконоскоп) и приемной (кинескоп). А без такой согласованной, синхронной и синфазной развертки вообще не может быть устойчивого изображения: если чуть изменится частота кадров, то картинка поползет вверх или вниз, а если частота строк — на экране вообще будет невообразимая путаница (Р-149; 7).

Чтобы электронный луч в кинескопе двигался в такт с лучом в передающей трубке, в телевизионный сигнал подмешивают импульсы синхронизации — кадровые и строчные (Р-148; 3, 4). В телевизоре эти импульсы выделяют и направляют к генераторам развертки. Синхронизирующие импульсы навязывают генераторам свой ритм, и именно таким образом достигается идеальное согласование разверток изображения на передатчике и в приемнике.

В выделении и использовании синхроимпульсов есть масса важных и интересных тонкостей. Вот лишь три из них. Первая: чтобы синхронизирующие импульсы не попадали на экран, не портили изображения, их спаривают с гасящими импульсами, которые вводятся в видеосигнал на момент обратного хода луча и с помощью которых гасится электронный луч (уровень гасящих импульсов выше уровня черного; они попросту запирают кинескоп, прерывают электронный луч на время его обратного хода). Вторая: чтобы за время кадрового синхронизирующего импульса не сбилась частота генератора строчной развертки, в кадровый синхроимпульс врезают несколько строчных. И третья: именно строгая последовательность синхроимпульсов

обеспечивает точное попадание на свои места строчек четных и нечетных полукадров.

На Р-149; 1 показана упрощенная схема селектора (разделителя) синхроимпульсов. Транзистор, ко входу которого подводится весь видеосигнал, надежно закрыт постоянным положительным смещением (например, $+5$ *В*), он открывается только в момент появления синхроимпульсов; только они создают ток в коллекторной цепи и напряжение на нагрузке. Здесь же в коллекторной цепи происходит отделение кадровых синхроимпульсов от строчных. Кадровые импульсы выделяет так называемая интегрирующая цепочка $R_к C_к$; ее конденсатор $C_к$ заряжают все импульсы коллекторного напряжения, но только длительные кадровые импульсы успевают зарядить его до сравнительно большого напряжения $U_к$. Строчные импульсы выделяют дифференцирующая цепочка $R_с C_с$; по ее нагрузочному резистору $R_с$ ток идет только в момент заряда конденсатора $C_с$, то есть только в момент изменения напряжения на коллекторе. Поэтому одинаковые импульсы зарядного тока, а значит, и одинаковые импульсы напряжения $U_с$ появляются и под действием основных импульсов строчной синхронизации, и под действием строчных импульсов, врезанных в кадровый.

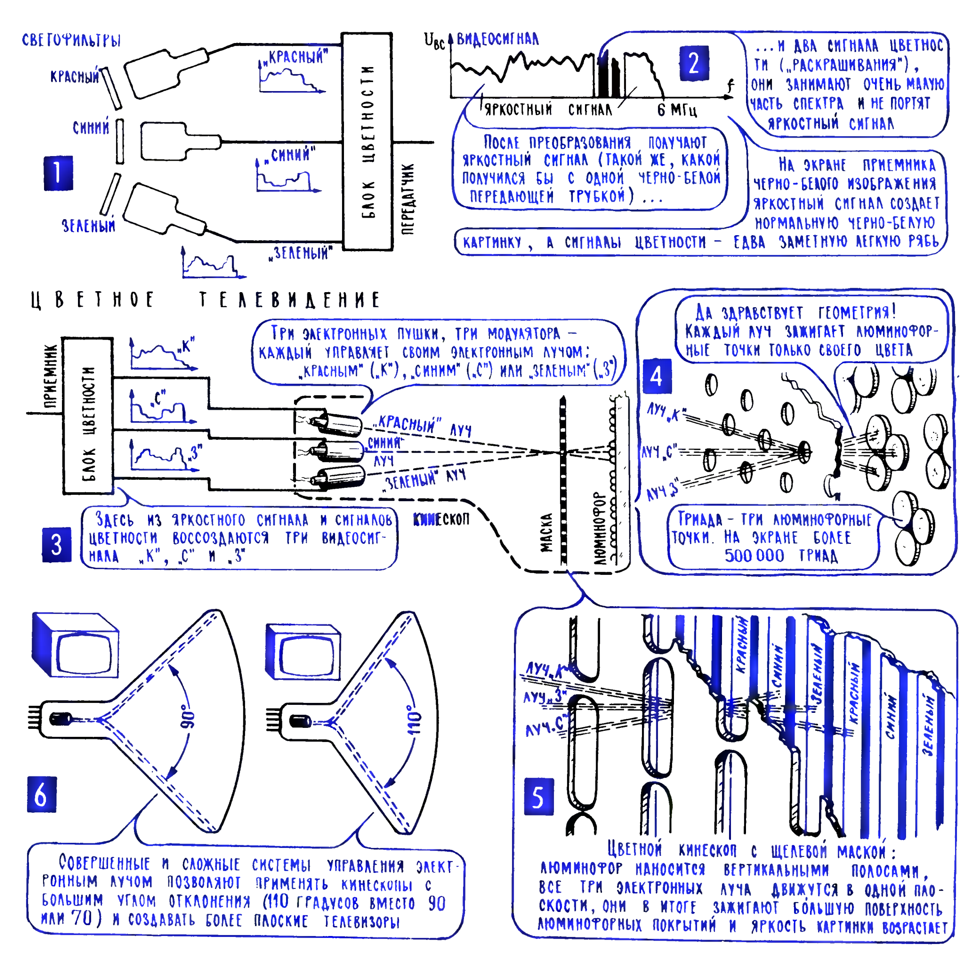
Даже беглое и, скажем прямо, поверхностное знакомство с рядовым по нынешним меркам аппаратом — телевизором — показывает, какого высокого совершенства достигла электроника в обработке электрических сигналов. Прекрасные примеры возможностей электроники по переработке сигналов можно найти в системе цветного телевидения.

Т-259. Используя люминофоры красного, синего и зеленого свечения и передав по телевизионному каналу информацию об окраске объекта, можно воспроизвести многоцветную картинку. Простейшие опыты с акварельными красками подтверждают: любой цвет радуги можно получить, смешивая в определенной пропорции краски трех основных цветов — красного, синего и зеленого. Такое смешение лежит в основе цветной фотографии и цветного кино: на кинопленке, например, три тончайших слоя эмульсии, три одноцветных изображения — красное, синее и зеленое. В разных местах кадра они имеют разную плотность и, складываясь в разных пропорциях, дают многокрасочную картинку. Т-259

Подобным же образом, передав по каналам связи три составляющие многоцветного объекта — красную, синюю и зеленую, а затем в месте приема сложив их на общем экране, можно получить цветное телевизионное изображение. В принципе задача эта решается несколькими разными способами. Иногда, например, создаются три совершенно одинаковых телевизионных канала, для одновременной передачи трех составляющих цветной картинки. Или по очереди передаются три кадра — красный, синий и зеленый.

Само сложение трех картинок на общем экране тоже можно осуществить по-разному. Например, с помощью трех кинескопов с красным, синим и зеленым светофильтрами и системы зеркал. Или воспользоваться тем, что химики научились делать люминофоры, которые дают свечение разных цветов, изготовить на их основе кинескопы с красным, синим и зеленым свечением и опять-таки сложить три картинки на общем экране. Или, наконец, взяв за основу масочный кинескоп, в котором три электронных луча одновременно рисуют три совмещенные друг с другом картинки трех основных цветов (Р-150; 3).

На мозаичном экране этого кинескопа примерно полтора миллиона мельчайших (диаметр меньше 0,3 *мм*) точек трех разных сортов люминофоров — с красным, синим и зеленым свечением, примерно по пятьсот тысяч точек



каждого цвета. Люминофорные точки расположены в строгом порядке, тройками, место каждой точки на экране выдерживается с точностью до 0,005 *мм*. Перед экраном — тонкая (толщина 0,15 *мм*) стальная маска, и в ней столько же мельчайших дырочек, сколько люминофорных троек на экране, то есть около пятисот тысяч.

В масочном кинескопе три электронных луча, их одновременно перемещает общая отклоняющая система, но током каждого луча можно управлять в отдельности. Все три луча попадают на экран, только пройдя через отверстие в маске. А поскольку лучи приходят к маске под разными углами, то и отверстие они тоже проходят под разными углами и попадают в разные точки экрана. В масочном кинескопе все рассчитано так, чтобы каждый луч попадал на люминофорные точки только одного цвета. Поэтому один луч рисует только красную картинку, второй — только синюю, третий — только зеленую. А на электроды, управляющие током этих лучей, соответственно подаются три разных сигнала — один несет информацию о красной составляющей картинки, второй о синей, третий о зеленой. В итоге на экране «одна в другой» появляются три картинки трех основных цветов, а так как точечная структура экрана издали незаметна, то эти картинки сливаются в одну многоцветную.

Важная особенность современных систем цветного телевидения — их совместимость. Это значит, что цветные передачи можно смотреть на обычном черно-белом телевизоре, разумеется в черно-белом виде, а цветной телевизор показывает и черно-белые передачи, но, конечно, тоже в черно-белом виде. К тому же в современных совместимых системах передатчик цветного телевидения занимает такую же полосу частот, как и черно-белый. Все это достигается благодаря целому ряду очень остроумных технических решений.

При цветной передаче передается черно-белая картинка, которая в цветном телевизоре «раскрашивается», а в обычном принимается, как она есть, в черно-белом виде. При этом используется одна очень интересная особенность нашего зрения: оказывается, что, раскрашивая четкую черно-белую картинку, можно получить весьма эффектное многоцветное изображение, не прорисовывая в красках всех подробностей, всех мелких деталей. То есть раскрашивание можно производить довольно грубыми мазками, это не очень-то сильно отразится на четкости. В совместимых системах цветного телевидения вместе с черно-белой картинкой передаются еще два сигнала «раскрашивания», два сигнала цветности, имеющих сравнительно узкий спектр, так как особой четкости от них не требуется.

Сигналы цветности «втискивают» в спектр черно-белого видеосигнала (Р-150; 2), практически не ухудшая этим основного изображения: на экране черно-белого телевизора из-за сигналов цветности создается едва заметная мелкая рябь. Такой способ передачи можно сравнить с исполнением трех разных мелодий на одном рояле. Основную мелодию играют на всей клавиатуре, сопровождают ее богатым аккомпанементом, мощными аккордами на басах. А двум другим, вспомогательным мелодиям достается всего несколько клавиш в районе самых высоких нот. Непосвященный человек и не заметит легкого попискивания вспомогательных мелодий, так же как черно-белый телевизор оставляет без внимания сигналы цветности. А в цветном телевизоре эти сигналы выделяются из спектра и бережно обрабатываются.

В цветном телевизоре сигналы цветности вместе с основным черно-белым сигналом сложным образом преобразуются, и в итоге восстанавливаются три исходных цветовых сигнала, в которых-то как раз и заключена информация о красной, синей и зеленой составляющих цветной картинки. Эти три сигнала подаются на три управляющих электрода цветного кинескопа — «красный», «синий» и «зеленый». При цветной передаче они совместными усилиями раскрашивают экран во все цвета радуги. А когда идет черно-белая передача, то все три цветные составляющие сбалансированы так, что дают одноцветное черно-белое изображение. Только в том случае, когда баланс нарушается, у одноцветной картинки появляется зеленоватый, синеватый или красноватый оттенок. Отсутствие этого оттенка, чистый черный тон картинки говорит о том, что три основных цвета сбалансированы правильно и цветная передача будет идти в правильных цветовых тонах.

В мире существует несколько совместимых систем цветного телевидения. По основной своей идее все они одинаковы, главное различие в способах записывания информации в сигналах цветности. В нашей стране цветное телевидение развивается на основе советско-французской системы SECAM (по-русски пишется СЕКАМ), в которой сигналы цветности передаются по очереди, через строку. В приемнике один из сигналов попадает на линию задержки и, двигаясь по ней, дожидается прихода второго сигнала цветности.

В большинстве европейских стран, а также в Китае, Индии, Австралии, в ряде стран Африки и Азии цветные передачи ведутся по западногерманской системе PAL, в США, Канаде, Японии и в большинстве стран Центральной

и Южной Америки — по американской системе NTSC («Энтиэсси»). Существование нескольких разных систем цветного телевидения — большое неудобство. Так, например, видеокассета, где цветной фильм записан в системе PAL, дает лишь черно-белое изображение в телевизоре, рассчитанном на SECAM. А цветную передачу футбольного матча, скажем, из Голландии (цвет записан в системе PAL) придется подвергнуть непростой обработке, чтобы ее могли видеть в нашей стране на телевизорах с декодером (дешифратором) цветности для системы SECAM.

На три системы передачи цвета (PAL, SECAM, NTSC) накладывается еще несколько стандартов черно-белого телевидения — у них разное число строк, кадров, разное частотное расстояние между несущими частотами звука и изображения и т. д. В итоге получается несколько нестыкующихся PALов и несколько SECAMов. Наши телевизоры без переделок качественно принимают лишь Д, К — SECAM.

Сейчас ученые и инженеры разрабатывают систему телевидения высокой четкости, где число строк будет примерно в два раза выше, чем в нашем стандарте. Число элементов растра будет соответственно в 4 раза больше, это позволит получать довольно четкую картинку на экране даже метровых размеров. Телевидение высокой четкости потребует создания новой аппаратуры для телецентров, для телепередатчиков и в итоге совершенно новых телевизоров. Учитывая имеющийся печальный опыт — неоправданное многообразие стандартов,— специалисты сейчас пытаются разработать и принять единый мировой стандарт для будущего телевидения.

Вернемся, однако, к аппаратуре сегодняшнего дня. У черно-белого и цветного телевизоров много общих узлов, различия появляются только после детектора, когда начинается выделение и переработка сигналов цветности. В целом же цветной телевизор намного сложнее черно-белого по своей схеме, по технологии обработки электрических сигналов. Кроме того, в цветном телевизоре имеется такая сложная деталь, как масочный кинескоп, который считается самым дорогим прибором бытовой электроники. И несмотря на все это, цветные телевизоры, еще недавно уникальные и, скажем прямо, капризные аппараты, стали массовым явлением, они миллионами сходят с заводских конвейеров, надежно и безотказно работают сотни и тысячи часов. Это лишний раз подтверждает, что современная электроника умеет создавать сложную и совершенную аппаратуру, пригодную для массового повторения, для выпуска большими тиражами.

Т-260 **Т-260. Анализируя изображение на экране, можно оценить работу отдельных узлов телевизора.** До сих пор в наши рассказы о тех или иных электронных аппаратах — приемниках, усилителях, электромузыкальных инструментах, магнитофонах — включались описания простейших действующих моделей, предназначенных для самостоятельного изготовления. Эта линия будет выдерживаться и дальше, даже в тех главах, где речь пойдет об электронной автоматике и измерительных приборах и вычислительных машинах. А вот что касается телевизора, то здесь, к сожалению, трудно придумать простейшую действующую модель — телевизор, даже самый простой, построить непросто рекомендовать такую работу начинающему конструктору не хотелось бы.

Много полезного можно почерпнуть, присматриваясь к работе своего домашнего телевизора, особенно в тех случаях, когда в его работе замечаются неполадки.

В качестве пособия для таких практических занятий приводится список некоторых типичных неисправностей телевизора и их возможных причин.

По экрану бегут кадры. Сильно изменилась частота кадровой развертки, синхронизация не в силах ее подправить. Или же не работает сама система синхронизации, не выделяются кадровые синхроимпульсы (Р-149; 5).

Картинка сжата в вертикальном направлении. Напряжения кадровой развертки не хватает, чтобы отклонять электронный луч от одного края кинескопа до другого.

Изображение искажено, деформировано в вертикальном направлении. Нарушена форма напряжения кадровой развертки, искривились зубья кадровой пилы (Р-149; 6), потеряна ее линейность.

На экране светится только узкая горизонтальная линия. Нет напряжения кадровой развертки (Р-149; 8).

Вместо картинки на экране мелькающая путаница рваных линий. Сильно изменилась частота строчной развертки, синхронизация не в силах ее подправить. Или же вообще не выделяются строчные синхроимпульсы (Р-149; 7).

Подергивание картинки. Причина та же.

Экран не светится, звук нормальный. Скорее всего, неисправность в генераторе строчной развертки, который дает высокое напряжение для питания кинескопа. Или же из-за какой-то мелочи кинескоп просто заперт.

Изображение двоится. Из-за несогласованности антенны с входной цепью телевизора или из-за попадания в антенну радиоволны, отраженной от соседних зданий, на вход видеоусилителя попадают два сигнала — основной и с некоторым опозданием второй, «эхо». Каждый из них создает свою картинку, но из-за запаздывания второго сигнала его картинка появляется чуть позже и поэтому сдвинута.

На картинке вертикальные темные линии, темные столбы. Из-за неисправности в блоке строчной развертки в нем, может быть, возникают паразитные колебания, у строчной пилы появляются дополнительные зубья.

Изображение слишком темное, размеры его заметно увеличены. Мало напряжение на втором аноде, электроны слабо ударяют по люминофорному экрану, они вяло движутся в луче, и развертка слишком легко отклоняет их.

Изображение слишком темное. Неисправен кинескоп или слишком велико отрицательное смещение на его управляющем электроде, мал ток луча. Иногда эта неисправность устраняется простым поворотом ручки «яркость», которая связана с делителем, подающим смещение на управляющий электрод.

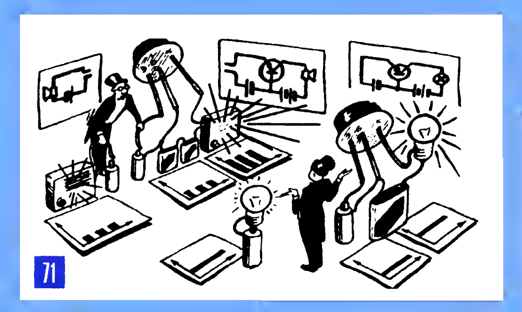
Изображение слишком блеклое. Мал уровень видеосигнала, который подводится к управляющему электроду кинескопа (Р-149; 4). Иногда эта неисправность устраняется поворотом ручки «контрастность», которая регулирует усиление видеосигнала.

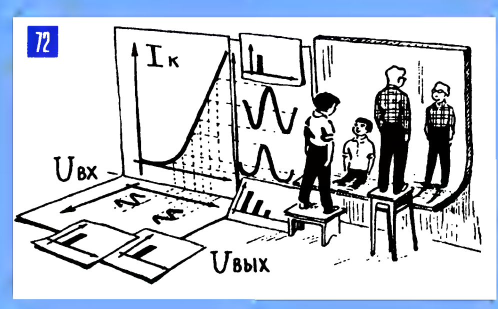
Нечеткое изображение, детали смазаны. Это может быть из-за неточной настройки на передающую станцию: промежуточная частота не совпадает с настройкой контуров усилителя ПЧ, часть спектра не проходит через эти контуры, и в итоге пропадают высокочастотные составляющие видеосигнала. (В цветном телевизоре из-за неточной настройки пропадают сигналы цветности.) Эту неисправность часто тоже удается устранить поворотом ручки настройки, связанной с конденсатором в контуре гетеродина (Р-149; 1). Кстати, из-за нечеткой настройки может наблюдаться сбой синхронизации.

К этому списку необходимо сделать важное примечание: некоторые из перечисленных недостатков устраняются с помощью систем автоматической регулировки и настройки, которые представляют в телевизоре огромный класс электронных приборов автоматического управления.

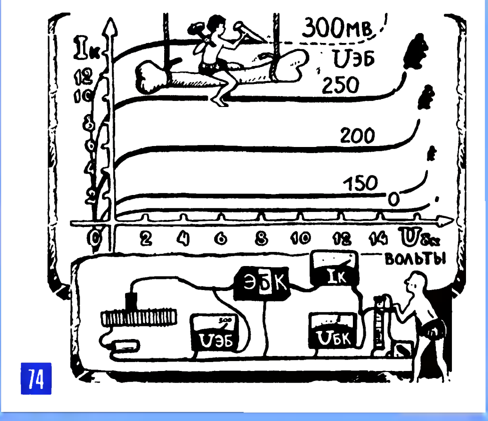


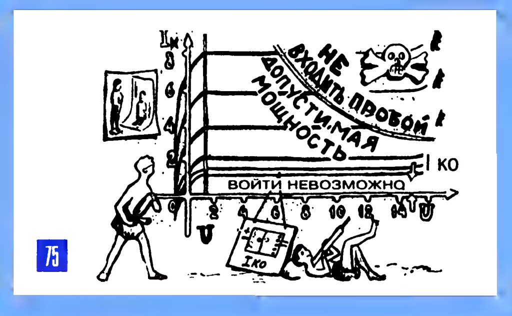


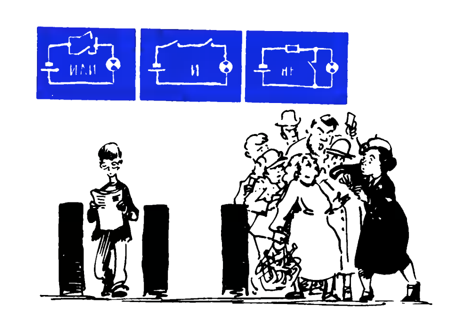












ГЛАВА 17

ДОВЕРЕНО АВТОМАТАМ

Т-261. Управление многими процессами доверяют автоматам, они часто работают быстрее и лучше человека-оператора. Свое знакомство с электроникой мы начали с того, что назвали главные задачи, которые решаются с ее помощью,— это сбор, хранение, передача и переработка информации (Т-106).

С первыми тремя профессиями электроники мы уже много раз встречались в линиях радиосвязи, радиовещания, устройствах звукозаписи, телевизионных системах. Что же касается переработки информации, то в большинстве случаев нам нужно было не перерабатывать, не изменять ее, а, наоборот, по возможности сохранить неизменной: на экране телевизора получить как можно более точную копию того, что видит передающая телевизионная камера, от громкоговорителей приемника или магнитофона получить как можно более точную копию речи или музыки, которые звучали перед микрофоном. А вот в устройствах автоматики, автоматического управления переработка информации — основной процесс, основная задача всех операций с электрическими сигналами.

Среди информационных процессов в живой природе, в машинах, в самой нашей жизни (Т-88) управление — один из самых распространенных. Примеры долго искать не нужно, куда ни глянешь — повсюду идут процессы управления. Определенные центры нервной системы должны точно управлять многими тысячами мышечных волокон, чтобы человек мог бегать, ходить или даже просто стоять на месте, не теряя равновесия. Пилот управляет работой двигателей, рулями высоты и поворота, чтобы самолет аккуратно взлетел, по заданному маршруту прибыл в нужный аэропорт и точно совершил посадку. Управлением занимается оператор подъемного крана, регулировщик уличного движения, директор завода, машинист электровоза, контролер кинотеатра, руководитель запуска космического корабля.

Из нескольких этих примеров можно увидеть, из чего складывается типичный процесс управления. Это сбор информации («Машина подвезла контейнер кирпичей»; «На Садовой улице скопилось много автомобилей»; «Второй цех не выполняет план»; «Идем со скоростью 500 километров в час; «Это билет на следующий сеанс»; «Время предварительной готовности исчерпано, все системы ракеты в норме»), сравнение собранной информации с тем, что хранится в памяти или записано в планах, расписаниях, проектах, и, наконец, выработка новой информации, выдача команд управления («Повернуть стрелу крана, опустить трос»; «Включить на Садовой улице зеленый свет»; «Ввести двухсменную работу»; «Увеличить скорость»; «Посоветовать прийти через два часа»; «Ключ на старт»). Какой бы пример управления мы ни рас-

сматривали, всегда в том или ином виде в нем можно найти эти три элемента — сбор информации, ее переработку и выдачу команд управления.

С давних пор человек стремится создать системы, которые без него, то есть автоматически, управляли бы тем или иным процессом. Первыми автоматами, наверное, были капканы, которые освободили первобытного охотника от огромных затрат времени, увеличили, как мы сейчас говорим, производительность его труда, позволили сразу охотиться в нескольких местах. Вместо того, чтобы самому сидеть и ждать зверя, а заметив его, дернуть за веревку, привести в действие ловушку, какой-то изобретательный охотник поручил эту работу автомату. Нехитрое приспособление, по нынешней терминологии «датчик», получив информацию о том, что зверь попал в ловушку, само приводило капкан в действие.

Эта замечательная способность автоматов беречь наше время, внимание, освобождать человека от тоскливой примитивной работы и сегодня оказывается одной из главных движущих сил автоматизации. Было время, когда на станциях метро работали сотни девушек-контролеров, они только то и делали, что отрывали корешки билетов и пропускали пассажиров. Сегодня со всей этой однообразной и гигантской по объему работой (через контрольные пункты московского метро ежедневно проходит 5—6 миллионов пассажиров) справляются довольно простые электронные автоматы. Или возьмите другой пример — автомобильный стеклоочиститель. Если бы не простейший автомат, то водителю пришлось бы каким-то образом самому непрерывно менять направление движения «щетки», заставлять ее двигаться туда-обратно. В автомобиле можно встретить и другие автоматы. Один из них управляет системой охлаждения, поддерживает на постоянном уровне температуру двигателя, второй регулирует напряжение генератора, в нужный момент подключает к нему для зарядки аккумулятор, третий поддерживает необходимый уровень бензина в карбюраторе. Если бы не эти автоматы, то шоферу, наверное, нужно было бы иметь ассистента, иначе ему просто некогда было бы следить за дорогой. В современных машинах столько разных автоматов, что все они, наверное, в тысячи раз увеличивают возможности работающего человечества. Кроме того, автоматы прекрасно работают в условиях, просто нетерпимых для человека, скажем, в атомных реакторах, на далеких планетах, во вредных агрегатах химических заводов. Автоматам часто поручают такие процессы, которыми человек вообще управлять не может: ему не хватает на это скорости реакций или объема внимания. У автоматических регистраторов ядерных частиц порой есть лишь несколько миллиардных долей секунды на то, чтобы заметить частицу и привести в действие аппаратуру для фотографирования ее полета. Автоматы, управляющие запуском гигантской ракеты, за тысячные доли секунды улавливают малейшие ее отклонения от расчетного курса и дают необходимые команды на реактивные рули.

А вот пример иных масштабов и совсем из другой области: автомат, завертывающий конфеты на кондитерской фабрике, за секунду выполняет десяток сложных операций, причем безотказно повторяет их двадцать — тридцать тысяч раз за смену.

Т-262 **Т-262. В системах автоматического управления и контроля широко используются электрические и электронные автоматы.** Разнообразных автоматов существует огромное множество. Они различаются и по своему назначению, и по устройству, и по своим взаимоотношениям с оператором. Иногда автомату доверяют управление всем процессом полностью, иногда ему поручают часть работы, а иногда автомат лишь собирает сведения о том, как идет процесс, ведет автоматический контроль, а решение принимает человек.

Различаются автоматы и по тому, в каком виде представлена в них информация. Есть автоматы чисто механические, как, например, часы, где механическое перемещение маятника управляет работой сложного механизма, а вся программа действий записана в конфигурации шестерен и их взаимном расположении. Бывают автоматы гидравлические и пневматические, в них информация тем или иным способом записана в потоках жидкости или газа. Есть автоматы и электрические, в них главные действующие лица — это токи и напряжения, электрические сигналы.

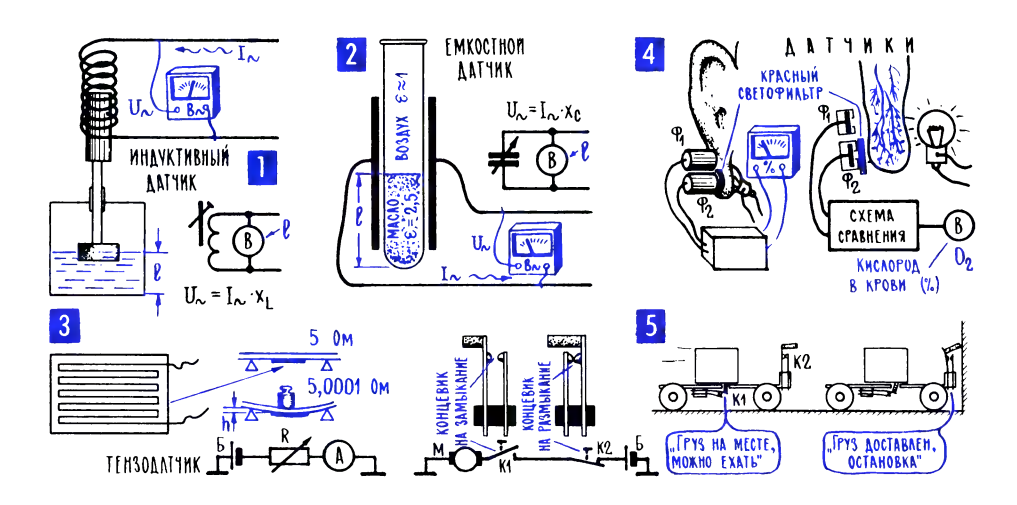
Во многих случаях электрические автоматы управляют электрическими же процессами. К таким электрическим автоматам для электрических систем нужно отнести и многочисленные элементы «малой автоматизации» в электронных схемах, например, автоматическую стабилизацию режима транзистора (Т-162), автоматическую подстройку частоты или автоматическую регулировку усиления (Т-226). Но очень часто электрический автомат приглашают на работу в совершенно чуждую для него область: он управляет температурой, ходом химических реакций, скоростью движения, управляет процессами, не имеющими никакого отношения к электричеству.

Использование электричества для управления неэлектрическими процессами связано с замечательными особенностями электрических сигналов — их легко перерабатывать: складывать, вычитать, сравнивать, разделять по определенным признакам. Их можно легко и быстро передавать на большие расстояния, распределять между многими потребителями, собирать с многих источников. И наконец, разнообразные датчики позволяют легко перевести на электрический язык, отобразить в электрических сигналах самые разные неэлектрические характеристики — температуру, скорость движения, освещенность, давление, химический состав.

Возможности электрических автоматов резко расширяются, когда они становятся электронными, когда появляется возможность усиливать сигналы, менять их форму, умножать и делить частоту, записывать в память и считывать — словом, производить разнообразные преобразования сигнала, которые умеет делать электроника.

Т-263. Датчики — органы чувств автоматов, они переводят информацию на электрический язык. Помимо уже знакомых нам датчиков (термоэлемента, терморезистора, фотоэлемента, фоторезистора, пьезокристалла, угольного и электродинамического микрофонов), имеется огромное множество других приборов для сбора информации о самых различных процессах, описания их в виде электрических сигналов. Датчиком перемещения, например, может быть резистор с переменным сопротивлением, если его подвижной контакт связать с движущимся предметом. Датчиком деформации — проволочка с высоким сопротивлением, изогнутая зигзагом и оклеенная бумагой (Р-151; 3). Такой датчик (тензометр) наклеивается на поверхность детали, и, когда деталь деформируется, проволока тоже изгибается и несколько растягивается, сопротивление ее меняется. На изменении сопротивления может основываться действие датчика уровня (Р-153; 1), хотя часто в таких датчиках используются другие принципы. Например, изменение индуктивности катушки по мере перемещения в ней ферромагнитного сердечника (Р-151; 1) или изменение емкости конденсатора по мере того, как между его пластинами появляется вещество с иной диэлектрической проницаемостью (Р-151; 2). А если датчик-индуктивность или датчик-емкость включить в цепь переменного тока, то напряжение, которое появится на датчике, покажет, в каком он находится состоянии и какова контролируемая величина, в данном случае уровень жидкости. Потому что напряжение на участке цепи пропорциональ-

Р-151



но его сопротивлению, а индуктивное сопротивление катушки x_L зависит от ее индуктивности L, емкостное сопротивление конденсатора x_C — от его емкости C. На том же принципе работают емкостные датчики влажности, перемещения металлических предметов, расхода жидкостей или газов, скорости потоков.

Существуют датчики, позволяющие оценить химический состав вещества, например, по электрическому сопротивлению пробной его порции, по спектру поглощения или оптической плотности. В качестве примера — один из датчиков для определения процентного содержания кислорода в крови (Р-151; 4). В него входят источник света и два фотоэлемента, один из которых закрыт красным светофильтром и воспринимает только красный свет. Датчик подвешивается к мочке уха, сквозь нее проходит свет и падает на фотоэлементы. Луч света просвечивает тонкие кровеносные сосуды в мочке уха, и уровень света, попадающего на «красный» фотоэлемент $Ф_2$, зависит от того, насколько кровь в этих сосудах насыщена кислородом. Электронная схема сравнивает напряжение на этом фотоэлементе с общей освещенностью, которая отражена в напряжении фотоэлемента $Ф_1$, и такое сравнение позволяет судить о процентном содержании кислорода в крови.

В датчиках можно встретить много остроумных решений, использующих тонкие физические, химические и биологические процессы. Ну, а самый простой датчик — это концевой выключатель (Р-151; 5), который замыкает или размыкает электрическую цепь и тем самым сообщает, что какая-либо деталь заняла определенное положение, пришла на свое место или, наоборот, ушла с него. Такие датчики можно встретить в лифте, где они сигнализируют управляющему автомату, что дверь пока не закрыта и двигаться еще нельзя.

Т-264

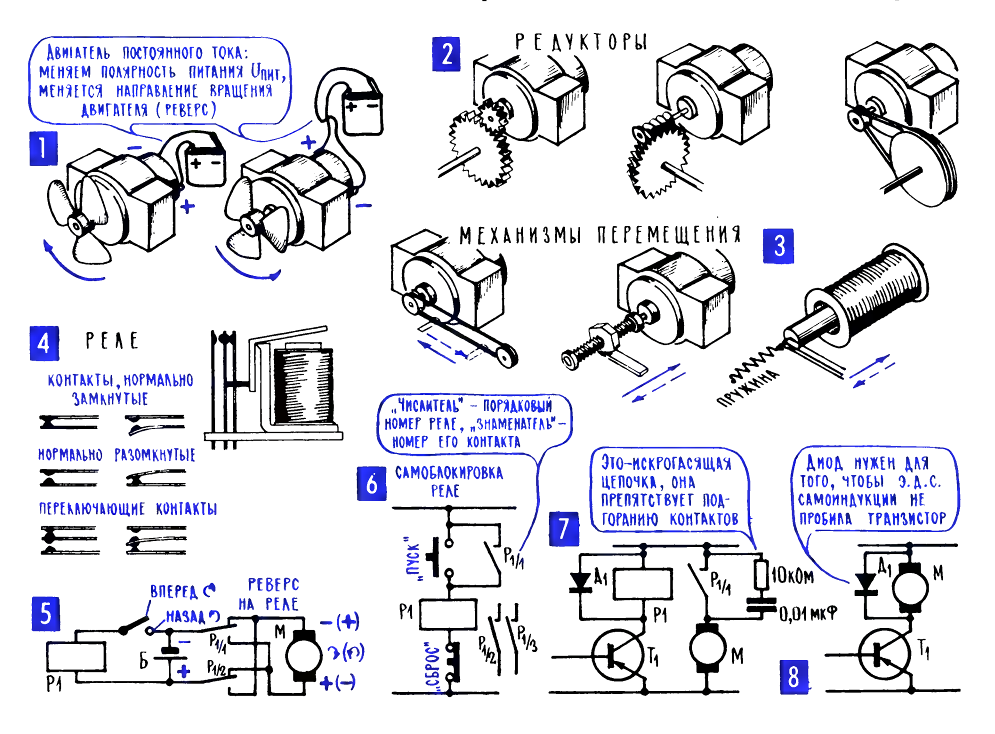
Т-264. Исполнительные механизмы автоматов — двигатели, электромагниты, реле. События во всех автоматах разворачиваются примерно по одному и тому же сценарию. Сначала собирается информация или извлекается программа из собственной памяти, или и то и другое одновременно. Затем информация как-то преобразуется, перерабатывается, автомат принимает решение о том, что нужно делать при тех или иных сочетаниях сигналов, вырабатывает сигналы управления. И наконец, начинается само действие, само управление — по разным адресам рассылаются команды: «повернуть», «открыть», «передвинуть», «нагреть», «погасить», и, подчиняясь этим сигналам-командам, начинают действовать исполнительные механизмы и приборы

(Р-152): электродвигатель поднимает кабину лифта на заданный этаж; железные сердечники втягиваются в катушки с током и на заданное время открывают краны, через которые в стакан наливаются сироп и вода; включается электрический подогреватель холодильника, усиливается испарение теплоносителя, и в холодильной камере до заданного уровня понижается температура; электромагнит передвигает контакты мощных выключателей, и они сразу зажигают сотни фонарей уличного освещения.

Там, где исполнительные механизмы потребляют небольшую мощность, они органически входят в схему автомата, их приводят в действие сами сигналы управления. Но во многих случаях мощности этих сигналов не хватает, и тогда в устройствах автоматического управления появляются разного рода усилители.

Там, где нужно плавно регулировать работу исполнительного механизма (например, плавно менять обороты двигателя), часто используются транзисторные и ламповые усилители постоянного тока. Их главная особенность, как говорит само название, связана с тем, что сигнал управления может меняться очень медленно, и, чтобы усилить такие очень медленно меняющиеся сигналы (их для образности называют постоянным током), из схемы исключают переходные конденсаторы (Т-193).

Там, где на исполнительный механизм подаются дискретные, ступенчатые команды, такие, например, как «включить», «выключить», «сменить направление тока», в качестве усилителя сигналов чаще всего используют реле. Их существует несколько разных типов, а в радиолюбительских схемах автоматики чаще всего используются электромагнитные нейтральные реле постоянного тока (Р-152; 4. С-20). Основа такого реле — электромагнит, катушка которого расположена на стальном сердечнике с почти замкнутой магнитной цепью. Когда по обмотке реле идет ток, то стальной якорь под



действием магнитного поля притягивается к сердечнику, когда же ток прекращается, пружина отводит якорь обратно. Притягиваясь к сердечнику, якорь нажимает на пружинящие контакты и замыкает их или размыкает, в зависимости от устройства контактной группы реле.

У разных типов реле разное количество контактов. Есть контакты нормально замкнутые, при срабатывании реле они размыкаются, есть контакты нормально разомкнутые, при срабатывании реле они замыкаются, а есть и такие контактные группы, в которых происходит переключение контактов. Таким образом, реле, особенно многоконтактное, кроме того, что оно усиливает сигнал, может еще и производить его определенную переработку (Р-152; 5, 6) — перебрасывать из одной цепи в другую, направлять в общую цепь разные сигналы, распределять управляющие сигналы между разными исполнительными механизмами. Бывает так, что реле вводят в систему автоматического управления только для того, чтобы производить сложные переключения, хотя, конечно, при этом почти всегда используется основная профессия реле — их умение усиливать сигналы.

Усилительные возможности реле объясняются очень просто: для притягивания якоря, то есть для срабатывания реле, нужно направить в его обмотку сравнительно малую электрическую мощность, и в то же время контакты реле могут управлять работой источников и потребителей большой электрической мощности. За словами «малая мощность» и «большая мощность» в данном случае стоят вполне конкретные цифры. Для каждого реле известен ток срабатывания; якорь заставляют притягиваться ампер-витки (Т-55), и, зная сопротивление реле, легко определить напряжение, которое нужно подвести к обмотке, чтобы получить необходимый ток срабатывания, а значит, и электрическую мощность, необходимую для срабатывания (Т-37, Т-41). Что же касается мощности, которой может управлять реле, то она главным образом ограничена конструкцией его контактной группы — начальным расстоянием между контактами, площадью их соприкосновения. Если заставить реле переключать слишком большие токи и напряжения, то оно может выйти из строя из-за подгорания контактов. Во всех случаях параллельно контактам полезно включать искрогасящую *RC*-цепочку, через нее замыкаются опасные высокочастотные составляющие тока искры, из-за которых главным образом и подгорают контакты.

Когда мощности сигнала не хватает для срабатывания реле, его можно объединить с транзисторным усилителем (Р-152; 7), а в некоторых случаях функции реле выполняет сам этот усилитель, работая в ключевом режиме; на входе одно из двух состояний «есть сигнал» или «нет сигнала» и на выходе соответственно «максимальный коллекторный ток» (режим насыщения) или «нет коллекторного тока». Транзистор, работающий в таком режиме, часто называют электронным реле (Р-152; 8).

Т-265

Т-265. В электронных автоматах переработка информации сводится к преобразованию электрических сигналов. Есть автоматы, от которых ничего иного не требуется, как следить за сигналом, поступающим с датчика, и пропорционально изменениям этого сигнала воздействовать на исполнительный механизм. Это так называемые следящие системы, типичные представители которых — системы АРУ и АПЧ в приемнике (Т-226) и система, поддерживающая постоянный уровень жидкости в каком-либо резервуаре (Р-153; 1). Следящие автоматы — это пока еще просто исполнительные работники (подобно микрофону или громкоговорителю, которые дословно переводят звук в ток и ток в звук), информация в них никакой переработке не подвергается: что сказал датчик (Т-8), то и делается. К числу таких простых систем отно-

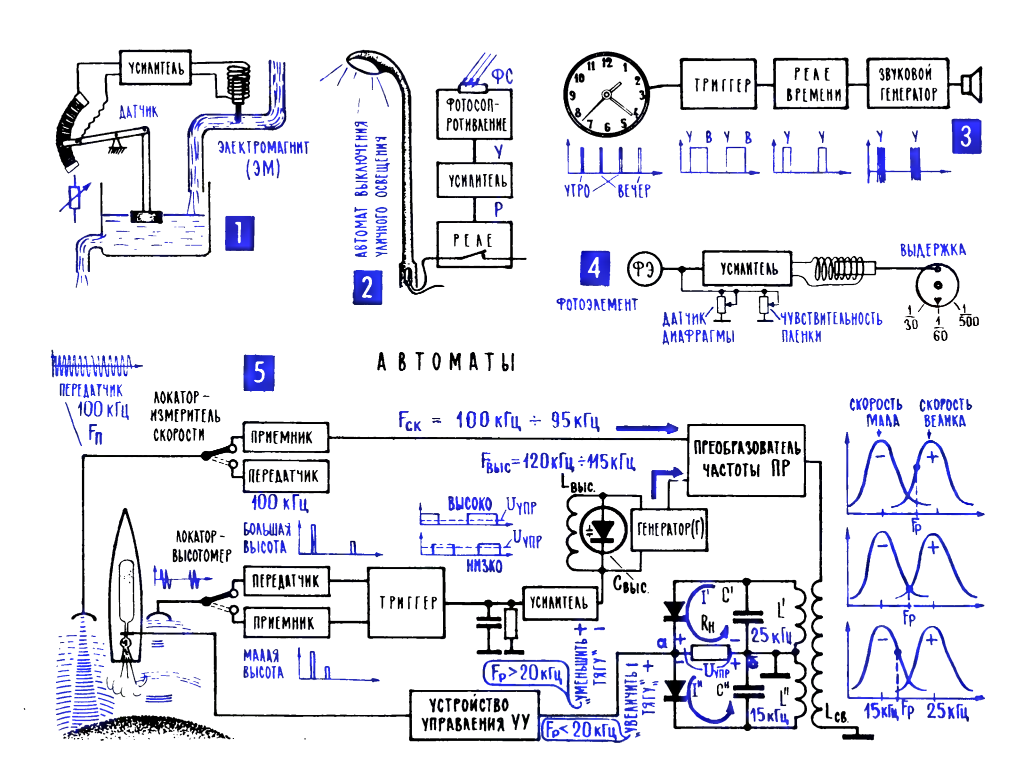
сятся и некоторые пороговые автоматы, они даже не интересуются уровнем сигнала все время, а знают лишь одно: достиг этот уровень определенного порога — надо действовать. Именно так, например, поступает автомат уличного освещения (Р-153; 2): вечером, лишь только естественный свет уменьшится до определенного порога, как автомат производит одно из двух действий, которым его научили,— включает уличные фонари; а с рассветом, когда освещенность поднимается выше заданного порога, автомат выполнит вторую из заученных операций — выключит фонари. Потом освещенность может увеличиваться как угодно, автомат на это реагировать не будет.

В автомате уличного освещения, правда, можно уже заметить элемент памяти: установив определенный порог срабатывания, мы заставили автомат запомнить, при каком уровне освещенности нужно включать и выключать фонари. В более явном виде память присутствует в системе установки экспозиции (выдержки) в фотоаппарате с автоматикой (Р-153; 4). Выдержка устанавливается обратно пропорциональною току, который дает фотоэлемент: чем больше освещенность, тем больше этот ток и меньше выдержка. Но в систему введены два переменных резистора. Один из них устанавливают в зависимости от чувствительности пленки, второй — в зависимости от выбранной диафрагмы. Сопротивление этих резисторов определяет ту часть тока, которая достанется исполнительному механизму, и, значит, при одной и той же освещенности он будет устанавливать разную выдержку в зависимости от сопротивления резисторов. Образно говоря, резисторы всегда напоминают автомату о том, что, устанавливая экспозицию, нужно ввести поправки на пленку и диафрагму, и, оперируя электрическим сигналом (ток через исполнительный механизм), корректируют информацию, поступающую в автомат.

Другой пример переработки информации: будильник с электрическим сигнализатором, который включается только через такт, например, в 8 часов утра работает, а в 8 вечера нет (Р-153; 3). Для этого в систему просто введен триггер, он делит на два число импульсов от датчика. В будильнике имеется еще один элемент обработки сигналов — реле времени: по короткому импульсу тока от датчика оно заставляет сигнал звучать достаточно долго.

Интересную обработку проходит сигнал в показанном на Р-153; 5 автомате управления ракетным двигателем (эта схема так же, как предыдущие и последующие, не более чем учебная модель, в реальных автоматах все может решаться по-иному). Основа автомата — два радиолокатора: один — измеряющий высоту ракеты, другой — ее скорость. Локаторам, конечно, нужно было бы посвятить особый рассказ, но, поскольку в радиолюбительской практике они встречаются редко, ограничимся лишь коротким упоминанием о них здесь, в разделе электронной автоматики, «придравшись» к тому, что радиолокаторы можно считать особым видом датчиков.

Т-266. Радиолокаторы — датчики расстояния, положения в пространстве, скорости. Локатор, определяющий расстояние, в принципе устроен очень просто. Передатчик радиолокационной станции посылает короткие импульсы радиосигналов, а приемник регистрирует импульсы, отраженные от объекта. Затем за дело берется точный измеритель времени, он определяет, сколько прошло с момента посылки импульса до момента, когда вернулось его отражение. Скорость радиоволн известна — 300 000 *км/сек*, и по времени путешествия сигнала точно вычисляется расстояние до объекта. Так, например, если сигнал путешествовал 0,1 *сек*, то объект, от которого он отразился, находится на расстоянии 15 000 *км* (туда-обратно — 30 000 *км*). Т-266



В большинстве локаторов основа измерителя времени — электронно-лучевая трубка. Электронный луч быстро движется по экрану, и одновременно к трубке подводятся дубликаты обоих импульсов — посланного передатчиком и отраженного. Импульсы дважды отклоняют луч вверх, и, таким образом, на экране появляются два ярких выброса. Расстояние между ними как раз и зависит от времени путешествия сигнала: чем больше запаздывает отраженный сигнал, тем позже появится второй выброс на экране. В итоге расстояние между выбросами в определенном масштабе отображает расстояние до объекта. На этом же принципе работают и локаторы кругового обзора: их антенна точку за точкой прочерчивает пространство, и синхронно с ней движется луч на индикаторе, яркими пятнами отмечая все объекты, от которых отражается радиоволна.

Особая группа локаторов — допплеровские измерители скорости, их принцип действия легко понять, вспомнив, как меняется тон паровозного гудка, если поезд проносится мимо вас. Когда поезд приближается, тон высокий, затем он становится все ниже и совсем уже сильно понижается после того, как поезд прошел мимо и удаляется. Такое изменение тона как раз и называется эффектом Допплера, оно связано с тем, что приближающийся излучатель как бы сжимает звуковые волны впереди себя, расстояние между соседними «гребнями» уменьшается, они чаще попадают в ухо, и звук слышится более высоким. А когда поезд уходит, звуковые волны как бы растягиваются, расстояние между «гребнями» становится больше, а значит, частота слышимого звука ниже. Чем быстрее подходит или отходит поезд, тем больше изменяется частота в сравнении с частотой, какую давал бы неподвижный излучатель. А это значит, что по изменению частоты можно судить о скорости движения излучателя. В том числе, регистрируя частоту радио-

сигнала, отраженного от Земли, и сравнивая ее с истинной частотой передатчика, бортовая аппаратура может определить скорость удаления космического аппарата. На этом же принципе, кстати, работают и радиолокационные измерители скорости автомобиля, которыми пользуются автоинспекторы.

Задача автомата Р-153; 5 состоит в том, чтобы увеличивать скорость ракеты по мере набора высоты. Вот как в нашей схеме решается эта задача. Локатор-высотомер и локатор, измеряющий скорость через многих посредников, воздействуют на управляющее устройство УУ, которое как раз и управляет тягой реактивного двигателя — если скорость недостаточна, то управляющее устройство увеличивает тягу, и скорость растет, а если скорость почему-либо окажется чрезмерной, то управляющее устройство уменьшит тягу, и скорость станет меньше. Идеальная ситуация такая — ракета поднимается, и управляющее устройство по мере набора высоты увеличивает скорость именно на столько, на сколько это требуется. Не больше и не меньше.

Управляющее устройство непосредственно связано с двумя контурами $L'C'$ и $L''C''$, на которые после разных преобразований приходят сигналы от обоих локаторов. Один из этих контуров $L'C'$ настроен на частоту 25 *кГц*, а другой контур $L''C''$ — на частоту 15 *кГц*. С каждого из контуров снимается переменное напряжение и выпрямляется диодом *Д'* или *Д''*. Причем у каждого контура свой персональный диод — у контура $L'C'$ диод *Д'*, а у контура $L''C''$ — диод *Д''*. А нагрузка у диодов общая — это резистор $R_н$. Включены диоды так, что они пропускают свой выпрямленный ток через $R_н$ в разных направлениях: для конкретного размещения деталей на рисунке Р-153; 5 ток I', который проходит через *Д'*, пройдет через $R_н$ слева направо, а ток I'', который проходит через *Д''*, пройдет через $R_н$ справа налево. И конечно, эти токи создадут на $R_н$ напряжение разной полярности: если по $R_н$ пойдет ток I', то в точке *а* относительно заземленной точки *б* будет «плюс», а если через $R_н$ пойдет I'', то полярность напряжения окажется обратной и в точке *а* относительно *б* будет «минус».

Напряжение на $R_н$ — главный продукт всей системы, это и есть управляющее напряжение $U_{упр}$, которое воздействует на управляющее устройство УУ — если на УУ с точки *а* подается «минус», то управляющее устройство увеличивает тягу двигателя, а если «плюс» — уменьшает.

Посмотрим теперь, как формируется напряжение $U_{упр}$, в каких случаях оно получается положительным, а в каких отрицательным.

Вернемся к контурам $L'C'$ и $L''C''$. Если на них действуют одинаковые по величине переменные напряжения, то токи I' и I'' тоже будут одинаковыми. Проходя по $R_н$, они полностью скомпенсируют друг друга, и в итоге никакого тока в цепи резистора $R_н$ вообще не будет. А значит, будет равно нулю и управляющее напряжение $U_{упр}$ (оно появляется на $R_н$ под действием протекающего по нему тока: $U = I \cdot R$), управляющее устройство никакой новой команды не получит, и тяга двигателя какой была, такой и останется.

Напряжение $U_{упр}$ появится лишь тогда, когда токи I' и I'' окажутся неодинаковыми, а это в свою очередь произойдет лишь в том случае, если переменное напряжение на одном из контуров $L'C'$ или $L''C''$ будет больше, чем на другом.

К обоим этим контурам через катушку связи $L_{св}$ подводится одно и то же переменное напряжение, оно поступает с преобразователя частоты *ПР*. При этом катушки расположены так, что из $L_{св}$ в L' и L'' поступают одинаковые порции энергии. Если с преобразователя *ПР* будет идти сигнал с частотой

20 *кГц*, то оба контура будут в одинаковой степени (на 5 *кГц*) расстроены по отношению к этому сигналу, на них наведется одно и то же напряжение, токи I' и I'' окажутся одинаковыми и, как только что мы выяснили, управляющего напряжения $U_{упр}$ на $R_н$ не будет. Но если частота сигнала, идущего от *ПР*, будет несколько больше или меньше, чем 20 *кГц*, то картина резко изменится.

Предположим, что с *ПР* поступает сигнал с частотой 21 *кГц*. Для контура $L'C'$ (настроен на 25 *кГц*) поступающий сигнал с частотой 21 *кГц* ближе к резонансу, чем сигнал с частотой 20 *кГц*. А для контура $L''C''$ (настроен на 15 *кГц*) сигнал с частотой 21 *кГц* дальше от резонанса, чем сигнал с частотой 20 *кГц*. Это значит, что при изменении частоты от 20 до 21 *кГц* напряжение на контуре $L'C'$ увеличится и станет больше, чем на $L''C''$, в точке *а* появится «плюс» и управляющее устройство получит команду увеличить тягу. Если же, наоборот, частота сигнала, поступающего с *ПР*, уменьшится с 20 до 19 *кГц*, то на контуре $L''C''$ напряжение станет больше, чем на контуре $L'C'$, ток I'' будет больше, чем I', в точке *а* появится «минус» и управляющее устройство получит команду уменьшить тягу.

Теперь нам остается выяснить, в каких же случаях и какой бывает частота сигнала, поступающего на контуры $L'C'$ и $L''C''$.

На *ПР* поступают два сигнала — один с локатора, измеряющего скорость (частота $f_{ск}$), второй с локатора — измерителя высоты (частота $f_{выс}$), и сам *ПР* в какой-то мере напоминает преобразователь частоты супергетеродинного приемника (Р-127; 1). Сигнал с измерителя высоты поступает на триггер, который поочередно срабатывает от импульса, переданного локатором на Землю, и импульса отраженного, вернувшегося от Земли. Чем выше поднимется ракета, тем больше времени будет проходить от посылки до возвращения импульса, тем дольше триггер будет находиться в одном из своих устойчивых состояний, тем, следовательно, дольше будет длиться ток $I_{выс}$. Этот ток сглаживается фильтром *RC* и управляет варикапом (управляемый

С-20

С-20. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Из большого ассортимента реле, выпускаемых промышленностью, любители в основном применяют лишь несколько серий. Некоторые их характеристики приводятся ниже: это число и тип контактных групп (з — замыкание, р — размыкание и п — переключение), ток срабатывания I (в *мА*) и сопротивление обмотки R (в *Ом*; зная ток и сопротивление, можно подсчитать напряжение срабатывания $U = IR$). В каждой серии существует несколько разновидностей реле, они различаются номером паспорта. В публикуемых справочных данных номер паспорта приводится только для первого реле данной серии, а затем указаны только последние цифры (жирным шрифтом), так как остальная часть названия паспорта не меняется. После цифр, которые относятся к названию паспорта, следуют еще две цифры (через точку с запятой): первая — это ток срабатывания I; вторая — сопротивление обмотки R. Данные о контактах (1р, 2з, 1п и т. д.) относятся к тем реле, перед которыми они стоят. Так, например, запись «(1п). 317... 319... 320... (1з), 321...» означает, что у первых трех реле — по одной переключающей группе контактов, а у последнего — одна замыкающая группа.

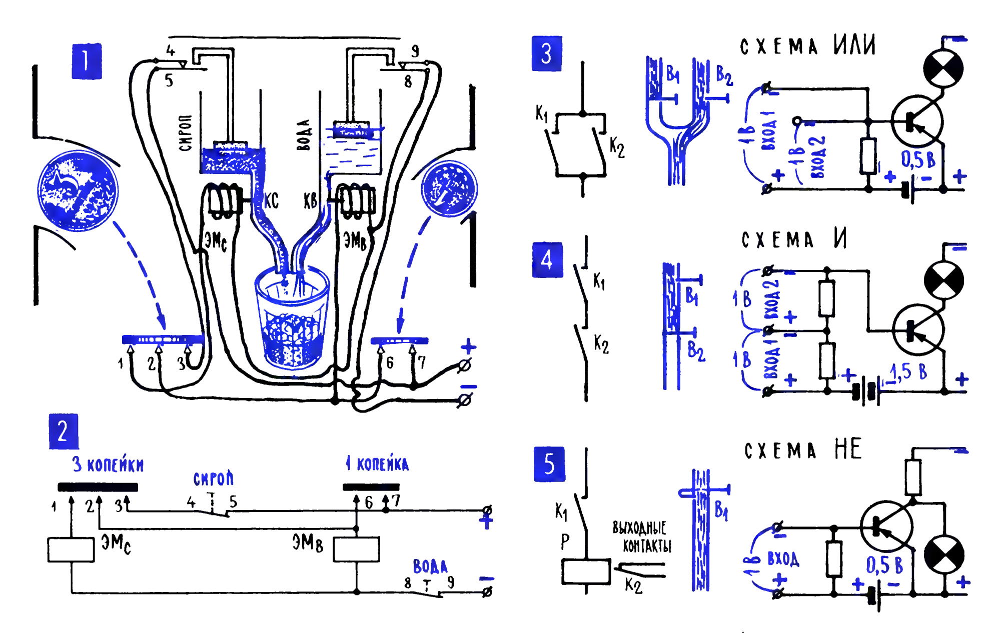
РСМ-1. (2з). Паспорт Ю. 171. 81.**01** — I — 26; R — 525. **20** — 25; 750. **37** — 24; 750. **43**—45; 200. **50** — 68; 50. **53** — 40; 250.

РСМ-2. (1з, 1р). Паспорт Ю.171. 81.**02**—26; 525. **21**—24; 750. **30**—25; 750. **31**—70; 120. **51** — 68; 60. **52**—390; 16. **54**—24; 750. **56**—24; 525. **58**—100; 30.

РСМ-3. (2р). Паспорт Ю. 171.81. **22**—24; 750. **32**—65; 120. **55**—34; 525. **57**—70; 60.

РЭС-10. (1з). Паспорт РС4.524. **300**—6; 4500. (1п). **301**—8; 4500. **302**—22; 630. **303**—50; 120. **304**—80; 45. **305**—10; 1600. **308**—35; 120. **311**—35; 120. (1п). **312**—50; 120. **313**—8; 4500. **314**—22; 630. **315**—80; 45. (1з). **316**—9,5; 1600. (1п). **317**—125; 21. **319**—23; 630. **320**—23; 630. (1з). **321**—35; 120. (1п). **322**—50; 120. **323**—8; 4500. **324**—22; 630. **325**—80; 45. (1з). **326**—9,5; 1600. (1п). **327**—23; 630.

РЭС-15. (1п). Паспорт РС4.591. **001** — 8,5; 2200. **002**—30; 160. **003**—21; 330. **004**—14,5; 720.



Р-154

полупроводниковый диод, выполняющий роль конденсатора переменной емкости; Т-136), который включен в контур $L_{\text{выс}}C_{\text{выс}}$ вспомогательного генератора *Г*. Параметры схемы подобраны так, что по мере подъема ракеты от уровня Земли до максимальной высоты частота $f_{\text{выс}}$ вспомогательного генератора *Г*, управляемого в итоге локатором-высотомером, меняется от 120 *кГц* до 115 *кГц*. Это одна из двух частот, поступающих на вход преобразователя *ПР*.

Вторая частота на вход этого преобразователя прямо поступает с приемника локатора, измеряющего скорость ракеты. Частота передатчика в этом локаторе 100 *кГц*, и если бы ракета была неподвижной, то и частота $f_{\text{ск}}$ отраженного сигнала была бы такой же — 100 *кГц*. Но ракета удаляется от Земли, и из-за эффекта Допплера частота $f_{\text{ск}}$ оказывается меньше, чем 100 *кГц*. Чем быстрее удаляется ракета, тем меньше частота $f_{\text{ск}}$. Предположим, что с момента старта до набора максимальной расчетной скорости частота отраженного сигнала меняется от 100 *кГц* (нулевая скорость) до 95 *кГц*.

Теперь мы готовы к тому, чтобы рассмотреть работу всей системы. По мере подъема ракеты уменьшается частота $f_{\text{выс}}$ и при этом уменьшается разность между $f_{\text{выс}}$ и $f_{\text{ск}}$, разностная частота после преобразователя *ПР* становится меньше чем 20 *кГц*. А значит, на $R_{\text{н}}$ появляется напряжение, «минус» которого подается на управляющее устройство УУ, оно увеличивает тягу, и скорость нарастает. Она будет нарастать до тех пор, пока разница между $f_{\text{выс}}$ и $f_{\text{ск}}$ вновь станет равной 20 *кГц*. Если при этом скорость увеличивается слишком сильно, то разница между $f_{\text{выс}}$ и $f_{\text{ск}}$ станет больше, чем 20 *кГц*, ток I' окажется больше, чем I'', напряжение $U_{\text{упр}}$ будет направлено «плюсом» к управляющему устройству, и оно несколько сбавит скорость. Так система будет следить за скоростью и высотой и по мере подъема ракеты (уменьшается $f_{\text{выс}}$) будет увеличивать тягу и поднимать скорость (уменьшается $f_{\text{ск}}$).

В нашем автомате происходит уже значительно более сложная переработка информации, чем в предыдущих, и с электрическими сигналами проделывается довольно много разнообразных операций. Однако же вся эта

система кажется просто игрушкой в сравнении с реальными электронными автоматами, которые управляют станками, космическими аппаратами или научными приборами.

Т-267 **Т-267. В электрических цепях легко выполняются логические операции И, ИЛИ, НЕ.** На рисунке Р-154; 1, 2 показана упрощенная учебная схема (опять-таки «упрощенная учебная» и не более) автомата для продажи газированной воды с сиропом. Схема эта довольно проста. Монета «1 копейка» замыкает контакты *6, 7,* и если при этом еще замкнуты контакты *8, 9* (они размыкаются, когда в резервуаре нет воды), то электромагнит $ЭМ_в$ откроет кран *КВ* и нальет в стакан воду. Монета «3 копейки» замыкает сразу три контакта. Это контакты *2, 3,* которые дублируют контакты *6, 7* и в итоге наливают в стакан воду. Кроме того, монета замыкает контакты *1, 3,* которые подают питание на электромагнит $ЭМ_с$, открывающий кран сиропа. Электромагниты, сработав, не только открывают краны *КВ* или *КС,* но еще включают механизм, забирающий монету. Если ни один из электромагнитов не сработает, то монету можно получить обратно.

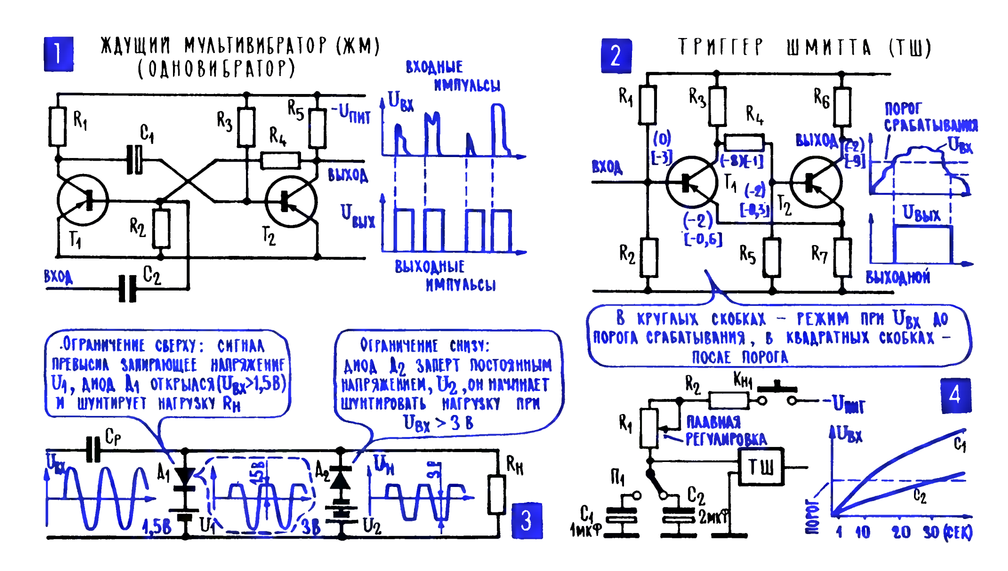
В этой схеме мы встречаемся с чрезвычайно распространенными элементами электронных автоматов — схемами, которые выполняют логические операции И, ИЛИ и НЕ. Схема И (Р-154; 4) дает возможность электрическому сигналу произвести свою работу, если замкнуты и первый контакт $К_1$, и второй $К_2$. В принципе контактов может быть сколько угодно, от этого повадки схемы И не меняются — она требует, чтобы были замкнуты все контакты одновременно. А вот схема ИЛИ (Р-154; 3) дает возможность сигналу сработать, если замкнут любой из двух контактов, или первый, или второй,— все они параллельны и замыкание любого открывает путь сигналу. Схема НЕ (Р-154; 5) просто делает все наоборот: при замыкании контактов $К_1$ она с помощью реле разрывает цепь, а при размыкании контактов $К_1$ замыкает цепь.

На рисунках показаны гидравлические аналогии операции И, ИЛИ и НЕ, а также простейшие транзисторные схемы, где могут выполняться эти логические операции. В схеме И на базу транзистора подано запирающее напряжение +1,5 *В,* и ни один из сигналов с напряжением 1 *В* сам по себе не может отпереть транзистор. Транзистор отпирается, только если на базу одновременно попадают и первый, и второй сигналы. А в схеме ИЛИ запирающее напряжение уменьшено до +0,5 *В,* транзистор с одинаковым успехом откроет или первый одновольтовый сигнал, или второй. В схеме НЕ лампочка (она везде отображает нагрузку) включена не в коллекторную цепь, а параллельно транзистору; открывшись, транзистор шунтирует нагрузку, и ток в нее не идет (можно пояснить иначе: у открытого транзистора напряжение на коллекторе, а значит, на лампочке, резко падает).

С помощью элементов И, ИЛИ, НЕ автоматы проводят целые цепочки логических рассуждений. Один из примеров на Р-154; 1, 2. Автомат наливает воду, когда брошена *или* 1 копейка, *или* 3 копейки, а сироп только в том случае, когда брошены 3 копейки и одновременно замкнуты *и* контакты *1, 3 и 4, 5 и 8, 9.*

В реальных автоматах этой последней пары контактов, возможно, нет: когда кончается сироп, автомат наливает чистую воду, забрав при этом монету.

Другой пример — обычный лифт. Мотор подъемника будет включен только в том случае, если несколько контактов, выполняя операцию И, замкнуты одновременно: *и* закрыта дверь шахты, *и* закрыта дверь кабины, *и* нажата одна из кнопок этажа на пульте управления, *и* в кабине имеется пассажир —



об этом сообщают контакты под полом. Эти контакты, кстати, выполняя операцию НЕ, отключают систему вызова лифта с того или иного этажа, если в кабине есть пассажир. А контакты кнопок на пульте управления входят в цепь мотора по схеме ИЛИ — лифт пойдет, если будет нажата кнопка *или* второго этажа, *или* третьего этажа, *или* десятого. На К-19 и К-20 приводится несколько практических схем электронных игрушек, в которых используются элементы логики.

Как видите, элементы логики И, ИЛИ, НЕ дают возможность строить рассуждающие автоматы, и мы еще встретимся с ними в электронных счетных машинах, в которых автоматизирован процесс вычислений (Т-271; Т-275).

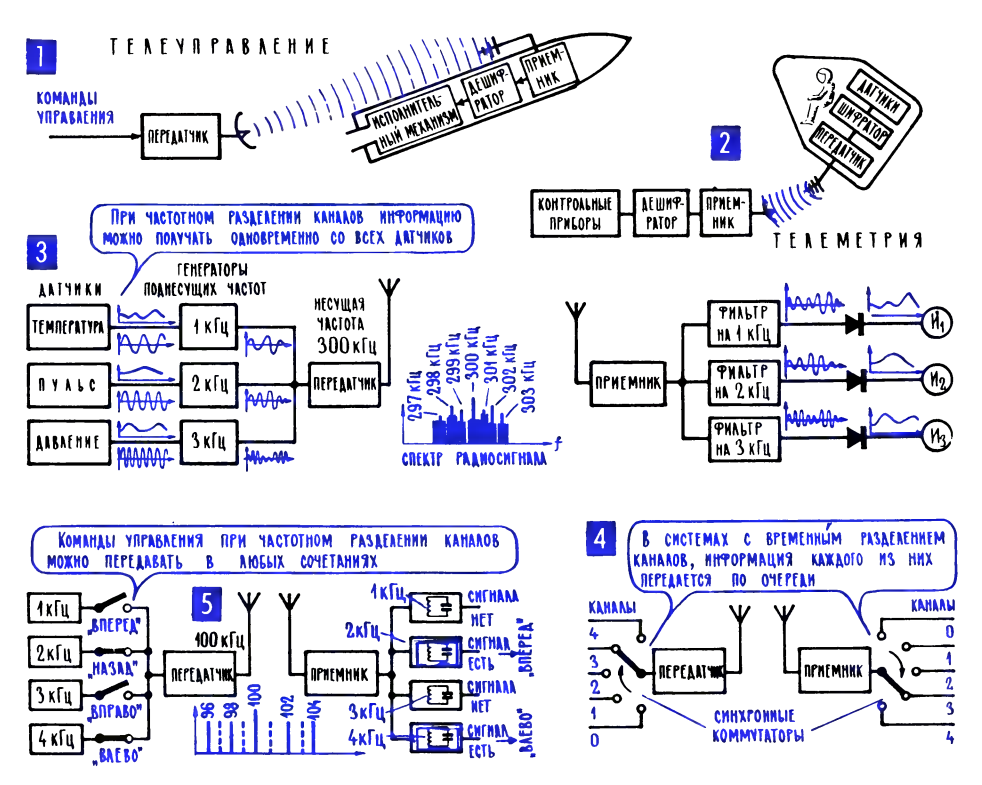
Т-268. Вспомогательные элементы электронных автоматов — ждущий мультивибратор, триггер Шмитта, реле времени, ограничитель. Бывают электронные автоматы аналоговые, в них действуют непрерывные и постепенно меняющиеся сигналы, и автоматы импульсные, в которых живут и работают электрические сигналы в виде коротких толчков тока, импульсов. Не будем разбирать достоинства и недостатки, а тем более очерчивать область применения каждого вида автоматов. Отметим лишь, что часто между ними нет непреодолимой границы: вспомните, например, как непрерывный сигнал — электрическая копия звука — превращался в сигнал импульсный в процессе амплитудно-импульсной модуляции. И еще заметим, что если считать автоматы «по штукам», то импульсных, наверное, окажется больше и, в частности, потому, что системы управления чаще всего работают по схеме: «узнал — решил — сделал — жду дальнейших указаний».

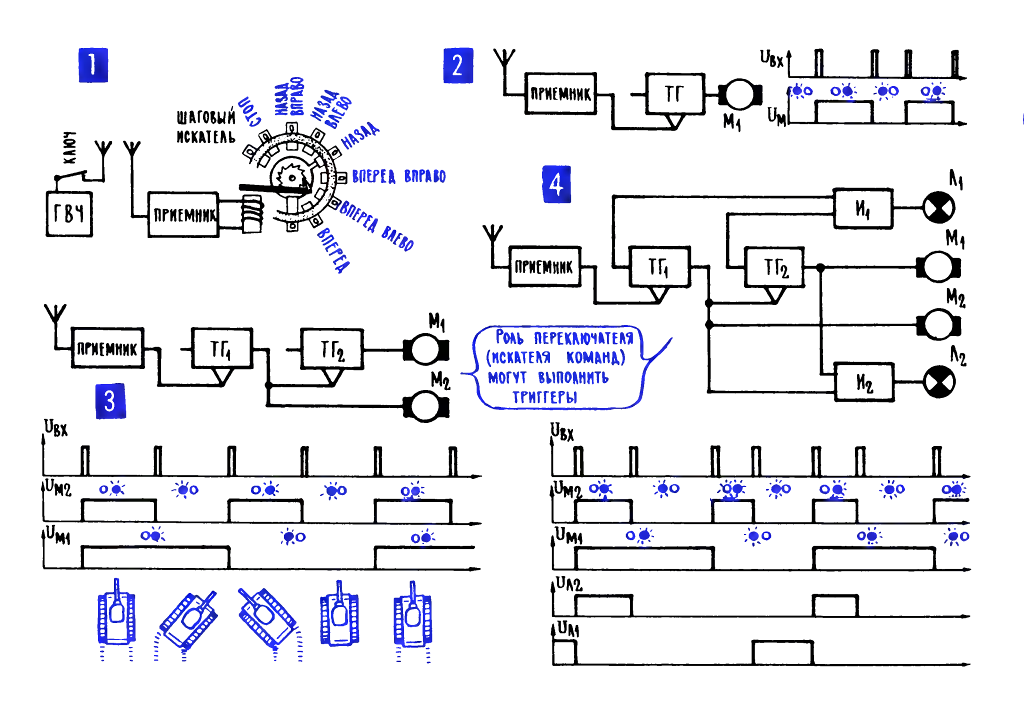
Сейчас, кстати, в системы автоматического управления встраивают миниатюрные вычисляющие блоки — микропроцессоры. В них и производятся почти все операции, связанные с обработкой информации, представленной в виде импульсных сигналов (Т-304).

У нас уже есть довольно широкий ассортимент элементов для построения импульсных автоматов — это датчики, электронные реле, элементы логики, триггеры, которые умеют делить частоту, то есть делить число поступивших импульсов на 2, на 4, на 8 и так далее. Теперь к этому набору добавим еще одну интересную электронную схему — ждущий мультивибратор, или, как

его еще называют, одновибратор. Его задача — получив на вход любой импульс, выдать на выходе аккуратный прямоугольный импульс такой длительности, которая в данном автомате считается стандартной.

Ждущий мультивибратор оказывается совершенно необходимым в импульсных системах, где из линий связи или с датчиков могут поступать самые причудливые импульсы. А в то же время многие элементы автоматики очень разборчивы в части длительности и формы импульса, особенно крутизны его переднего фронта. Так, например, триггер (ТГ) может не прореагировать на сигнал, который нарастает постепенно, медленно. Чтобы триггер перебросился из одного устойчивого состояния в другое, чтобы в нем начался лавинообразный процесс переброски, сигнал на входе триггера должен нарастать очень резко, то есть у входного импульса должен быть крутой передний фронт. Ждущий мультивибратор (Р-155; 1, практическая схема на К-20; 4) — это, по сути, обычный мультивибратор (Т-176), но только, если можно так сказать, перекошенный, с непосредственной связью одного из коллекторов, с базой соседа, как у триггера. Поэтому здесь нет привычного поочередного открывания транзисторов; в ждущем мультивибраторе из-за «перекоса» один транзистор всегда закрыт (на нашей схеме T_1), а второй (T_2) всегда открыт. И только с приходом входного сигнала первый транзистор получает помощь со стороны и открывается, причем открывается резко, как всегда бывает в мультивибраторах. Второй транзистор при этом, конечно, закрывается. Но счастье длится недолго: как только второй транзистор в порядке очереди перехватывает инициативу (в мультивибраторе все так и должно





быть, транзисторы должны открываться поочередно; Т-176), он уже не отдает ее до конца: схема из-за несимметричности, из-за «перекоса» опять попадает в свое первоначальное состояние. И остается в этом состоянии навсегда, точнее, до следующего входного импульса, который опять на мгновение создаст условия равноправия транзисторов и позволит «вечному узнику» — постоянно закрытому транзистору — на мгновение открыться и выдать кратковременный импульс. Кстати, тот самый кратковременный стандартный импульс, который требуется от ждущего мультивибратора. Так из подпорченного импульса получают новенький, абсолютно исправный.

Другой полезный элемент для импульсных схем — триггер Шмитта (Р-155; 2, практическая схема на К-2; 11). Это есть пороговое устройство: когда входной сигнал достигает определенного уровня, триггер Шмитта быстро срабатывает и на его выходе начинается прямоугольный импульс. Этот импульс будет продолжаться до тех пор, пока сигнал не станет меньше установленного порога.

Некоторые элементы, которые можно встретить в импульсных схемах, нам уже знакомы. Это, например, дифференцирующие цепочки (Р-149), они фиксируют не сам импульс, а только момент его появления или исчезновения. Это интегрирующие цепочки (Р-149), которые реагируют не на отдельные импульсы, а на их «густоту» или продолжительность. Легко можно представить себе и диодный ограничитель уровня импульсов. Его основа — диод, закрытый определенным напряжением; диод открывается и начинает пропускать ток или, наоборот, шунтировать нагрузку после того, как напряжение импульса превысит определенную величину, тем самым диод ограничивает, срезает верхушку импульса (Р-155; 3). Наконец, много разных интересных операций можно производить в импульсных схемах, объединяя несколько разных элементов. Так, например, объединив триггер Шмитта с обычной зарядной *RC*-цепочкой, мы получим реле времени (Р-155; 4),

устройство, которое будет выдавать импульсы определенной длительности, включая или выключая какое-либо устройство на нужное время.

Т-269. Если управляющий автомат и объект управления находятся на большом расстоянии, им на помощь приходит телеуправление и телеметрия. Слова «телеметрия» и «телеуправление» (Р-156) особенно часто приходится слышать в последнее время, когда в широких масштабах осуществляются полеты самых разных космических кораблей. На этих кораблях всегда есть собственные, или, как их называют, автономные, системы автоматического управления, но их, как правило, дублируют наземные управляющие комплексы. А есть такие операции, которые требуют огромных расчетов, их выполняют наземные комплексы управления полетом и уже в готовом виде передают свои решения на борт аппарата — это называется управлением на расстоянии или, иначе, телеуправлением.

Чтобы почувствовать, какого высокого совершенства достигла техника телеуправления, достаточно вспомнить, как, повинуясь воле работающих на Земле операторов, путешествовали по Луне наши луноходы.

С телеуправлением тесно связана и телеметрия — передача с борта корабля на Землю самой разной информации о работе бортовых систем, режиме полета, а если корабль пилотируемый, то и о состоянии космонавтов. Телеметрия и телеуправление нужны, конечно, не только в космических исследованиях, сбор информации и управление на расстоянии производятся во многих областях техники и научных исследованиях (телеуправление нефтедобывающими установками по проводам, радиотелеуправление зенитными ракетами, радиотелеметрия состояния спортсмена во время тренировок, радиотелеметрия метеорологических данных с шаров-зондов), не говоря уже о телеуправляемых моделях и игрушках.

Системы телеуправления и телеметрии почти всегда многоканальны: информацию приходится собирать от многих источников и команд управления, как правило, тоже приходится передавать много. Все такие многоканальные системы можно разделить на две большие группы — с частотным и временным разделением каналов. В системе с частотным разделением информация по всем каналам может передаваться одновременно — каждому каналу отводится своя поднесущая частота, а в месте приема фильтры отделяют один канал от другого (Р-156; 3, 5). Если передача ведется по проводам, то на этом дело и ограничивается, а если по радио, то все поднесущие частоты вместе со своими боковыми модулируют высокочастотный ток в радиопередатчике, и таким образом в эфир передача идет с двойной, «двухэтажной» модуляцией.

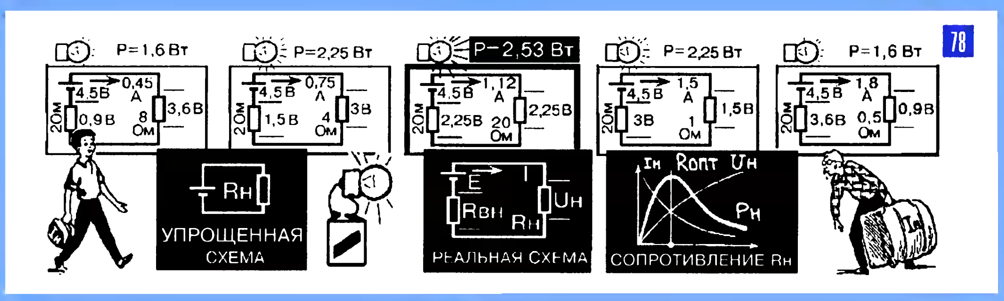
При временно́м разделении каналов информация в каждом из них передается поочередно, а на передающей и на приемной сторонах есть быстродействующие синхронные коммутаторы, которые подключают нужный комплект аппаратуры поочередно к линии связи (Р-156; 4). В радиоуправляемых моделях часто используют упрощенную разновидность временно́го разделения — кодирование числом импульсов (Р-157; 1). На самой модели устанавливают шаговый искатель или некоторое его подобие, а с передатчика направляют строго определенное число импульсов. Если известно, в каком положении стоит шаговый искатель, то, передав нужное число импульсов, можно его заставить сделать нужное число шагов и включить желаемую команду. А после того, как команда будет выполнена, определенным числом импульсов вернуть шаговый искатель в исходное положение. Чтобы шаговый искатель «по дороге» не запускал другие исполнительные механизмы, можно сделать так, что он будет отключаться от них на время движения по-

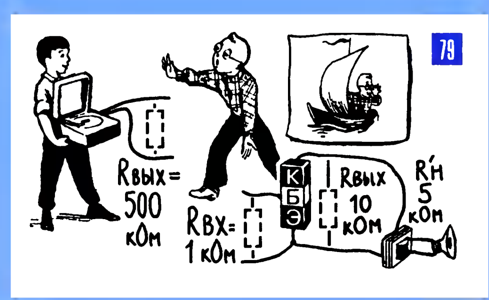
движного контакта. Используя триггеры и элементы И, ИЛИ, НЕ, можно собирать и электронные переключатели команд для систем телеуправления (Р-157; 2, 3, 4; К-19, К-20).

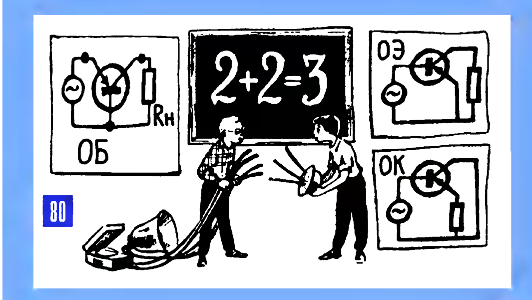
Кстати, электронные коммутаторы и элементы И, ИЛИ, НЕ широко применяются в компьютерах, в этих сложных импульсных автоматах.

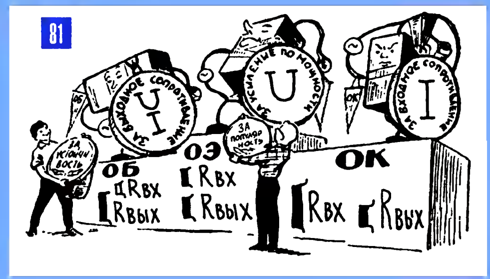












ГЛАВА 18

КОМПЬЮТЕР — ВЫЧИСЛЯЮЩИЙ АВТОМАТ



Т-270

Т-270. Моделирование широко используется для решения самых разных задач в живой природе, в технике и науке. Когда школьник строит модель автомобиля или парусной яхты, он приобщается к одному из величайших достижений человеческого разума, которое, как ничто другое, сделало человека великаном. Речь идет о моделировании. Живая природа взяла патент на моделирование очень давно, задолго до появления человека. Не будем касаться самых первых успехов на этом пути. Фантазируя и упрощая, попробуем представить, как появилась одна из моделирующих систем у некоторого вида рыб. Предки этих рыб гонялись за пищей, за быстрыми инфузориями самым простым способом: в каком месте увидит рыба инфузорию, туда и кидается. Охота завершалась успешно, если инфузория оставалась на месте или уходила просто вперед — скорости у рыбы хватало. Но когда инфузория уходила в сторону — рыба промахивалась, она должна была останавливаться и вновь искать глазами добычу, а та тем временем успевала уйти. И вот на каком-то этапе рыбы научились моделировать движение инфузории, «включая» разные нейроны (нервные клетки) своего мозга. Научились быстро «прокручивать» на модели весь процесс погони и выбирать направление своего броска так, чтобы в нужный момент прийти в «точку встречи».

На Р-158; 1 система такого моделирования показана крайне упрощенно, примитивно, хотя, впрочем, изобразить ее точно и нельзя было бы: конкретные механизмы моделирования в нервных сетях пока неизвестны.

Огромна роль моделирования в организации поведения (здесь «поведение» в самом широком смысле, а не в том, в котором оно фигурирует в школьном дневнике) живых организмов и особенно человека. Играем ли мы в волейбол, отрезаем ли кусок хлеба, вытачиваем ли на токарном станке сложную деталь или просто прогуливаемся по саду, мозг непрерывно строит подробные модели, куда входит и внешняя обстановка, и состояние организма. На этих моделях с огромной скоростью отрабатываются варианты действия, в соответствии с конкретной задачей выбирается один из них, а затем уже выдаются соответствующие команды и начинают действовать многие тысячи больших и малых мускулов. В этой гигантской работе, которую мы, в общем-то, даже и не замечаем, участвуют миллиарды нейронов, а каждый из них сам по себе представляет собой сложнейшую машину.

Значение моделирования во всей человеческой деятельности огромно. Понять что-либо — значит построить в своем сознании модель этого самого «что-либо». Что-нибудь изобрести — значит поработать с определенной мысленной моделью и извлечь из этой работы новую полезную информацию. А если мы совершили неверное действие, значит, плохо проработали задачу

на модели или, что бывает значительно чаще, ошибочно построили саму модель.

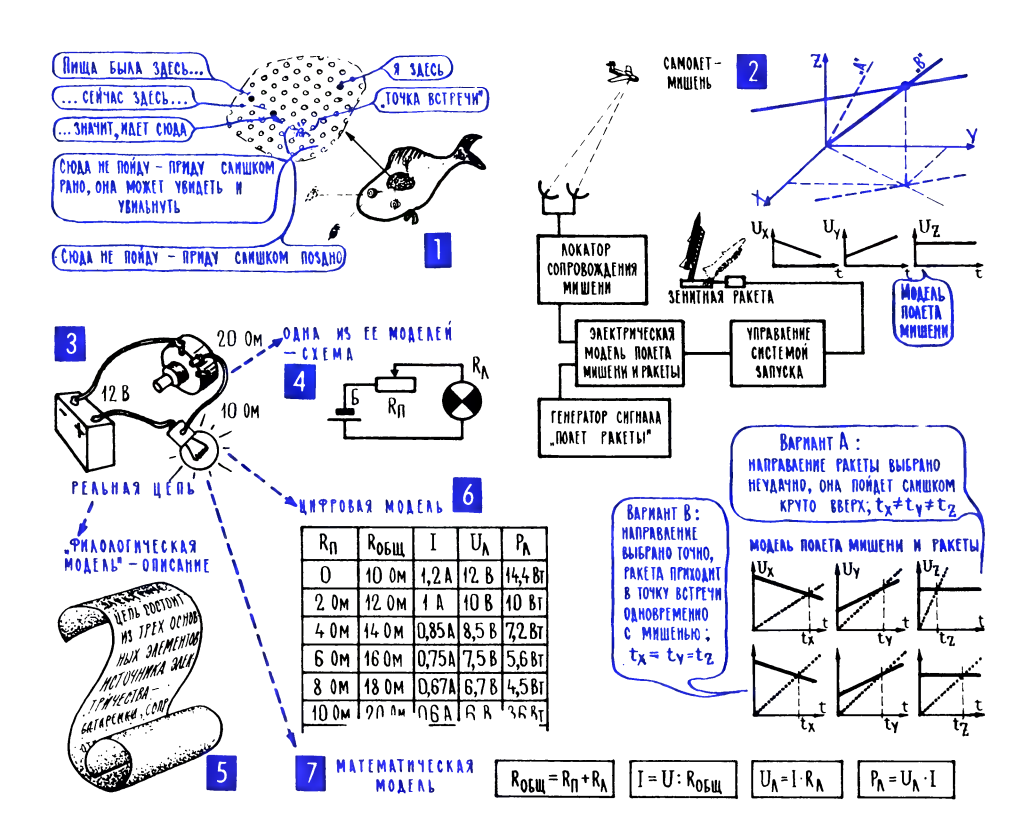
Есть реальный мир, мир реальных вещей и явлений, мир звезд, атомов, табуреток, желтых осенних листьев, соседей по дому. А есть отображающий эту реальность мир моделей, с которыми работает наша мысль. Так вот, мир моделей должен соответствовать реальному миру, именно соответствие модели и реальности стоит за этим коротким и хрупким словом «правда». Бывает, человек говорит громким, уверенным голосом, что все, мол, обстоит так-то и так-то, но проходит некоторое время, и оказывается, что во всем он был не прав, что вся его красивая модель не отображала реальную действительность.

Модель всегда беднее реального объекта, она отображает лишь некоторые его черты. Причем в разных случаях — разные, все зависит от задачи, для решения которой создается модель. Так, например, чтобы оценить летные качества самолета, в аэродинамической трубе обдувают его модель, которая повторяет лишь внешние черты оригинала. Занимаясь размещением пассажирских кресел, строят модель салона, не обращая внимания на внешние формы машины. А когда диспетчер аэропорта организует последовательную посадку нескольких приближающихся самолетов, он представляет их себе просто движущимися точками, занимающими определенное место в пространстве.

Модели могут быть сделаны из самых разных материалов, описание реальности в них осуществляется на самых разных языках. Модели самолетов бывают из дерева, металла или пластмассы, а бывают из бумаги и туши: чертеж — это ведь тоже модель. И рисунок тоже. И фотография. В нейронных сетях рыбы (Р-158; 1) модель строилась с помощью сложных электрохимических процессов в нервных клетках, а в системе управления ракетой (Р-153; 5) — с помощью электрических токов. Еще один пример электрического моделирования — на Р-158; 2, здесь «задача встречи» решается для зенитной ракеты и самолета-мишени. Движение самолета в этой модели отображается тремя меняющимися напряжениями — это координаты мишени по трем перпендикулярным осям x, y, z. Напряжение, отображающее координату z, остается постоянным, это значит, что самолет летит на постоянной высоте. Тремя меняющимися напряжениями отображена возможная траектория зенитной ракеты, причем система управления пробует несколько разных троек (на рисунке для простоты показаны две из них, вариант А и вариант Б), выбирая такое направление, которое приведет ракету в «точку встречи» одновременно по всем координатам. Электрическое моделирование используют во многих системах управления, работать с электрическими сигналами очень удобно. Их легко менять, проверяя на модели самые разные ситуации. Не так-то просто изменить размеры какой-нибудь детали на механической модели или даже на чертеже, а изменить тот или иной ток в электрической модели довольно просто.

Нынешнего своего могущества человек добился, подчинив себе энергию несравнимо бóльшую, чем могут дать мускулы, и создав машины, которые стали продолжением человеческой руки. Но началось все это с другого, с того, что, взаимодействуя с природой, сражаясь за существование, человек научился мыслить, научился создавать очень совершенные мысленные модели и работать с ними так, как не умеет никакой другой представитель животного мира. А потом пошел дальше — научился создавать искусственные модели и на них отрабатывать свои практические задачи. Такими моделями стали рисунки, слова устной речи, иероглифы, а затем и буквенное письмо,

Р-158



$R_п$	$R_{общ}$	I	$U_л$	$P_л$
0	10 Ом	1,2 А	12 В	14,4 Вт
2 Ом	12 Ом	1 А	10 В	10 Вт
4 Ом	14 Ом	0,85 А	8,5 В	7,2 Вт
6 Ом	16 Ом	0,75 А	7,5 В	5,6 Вт
8 Ом	18 Ом	0,67 А	6,7 В	4,5 Вт
10 Ом	20 Ом	0,6 А	6 В	3,6 Вт

географические карты, чертежи, графики. И еще, конечно, математические модели, которые начались с простого счета и пришли к современной математике, умеющей моделировать самые сложные процессы в природе и машинах. Рисунки Р-158; 3; 4; 5; 6; 7 иллюстрируют создание разных моделей простой электрической цепи, и уже из этого примера видно, насколько удобна и экономична математическая модель, в данном случае описание схемы с помощью нескольких формул закона Ома (Р-158; 7).

Возможности математического моделирования резко расширились в последние десятилетия после появления электронных вычислительных машин, ЭВМ. Эти машины умеют быстро перерабатывать огромные объемы информации, создавать и исследовать модели, выполненные не «в металле», а в виде чисел, прекрасно отражающих самую сложную реальность.

Т-271

Т-271. Для электронных вычислительных машин очень удобна двоичная система счисления. Почему мы пользуемся именно десятичной системой счисления, а не другой? Почему, добравшись до 9, следующим шагом, добавляя к девятке единицу, считаем разряд полностью укомплектованным, пишем в нем 0, а перед нулем единицу (это значит, «есть одна полная десятка, один полный комплект») и переводим счет в самое начало следующей десятки? Почему именно 10, а не какое-нибудь другое число, не 6 и не 8, стало в нашем счете границей для перехода в следующий разряд? Наверное, потому, что на руках у наших предков, изобретателей десятичного счета, было 10 пальцев и им просто удобно было сделать число 10 основой системы счисления. А было бы у них 8 пальцев на руках, система получилась бы, наверное, восьмеричной: досчитав до 7, мы переходили бы в следующий разряд и записывали

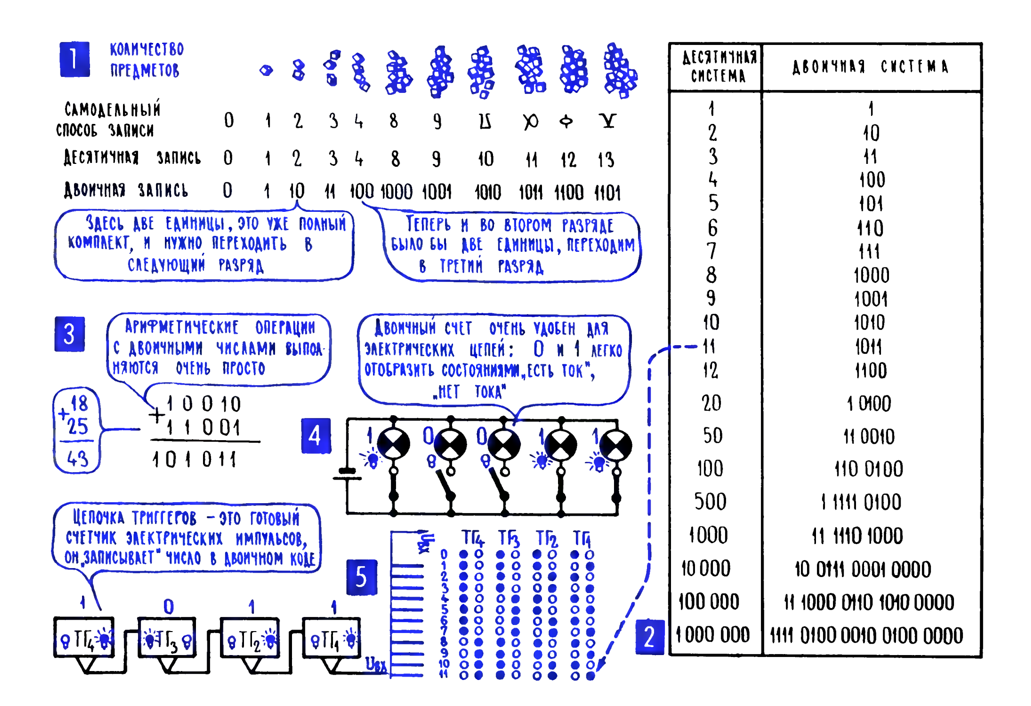
бы нынешнюю нашу восьмерку как 10 (первый разряд полностью укомплектован, там полная восьмерка, пишем 0 и переходим во второй разряд, поставим там 1); девятку записывали бы как 11 (то есть 8 + 1); десятку — как 12 (то есть 8 + 2); 16 — как 20 (два полных комплекта восьмерок); а восемь восьмерок, то есть наше десятичное 64 в восьмеричной системе записывалось бы как 100 (укомплектованы полностью и первый разряд и второй, переходим в третий).

В принципе основанием для системы счисления можно выбрать любое число — какое удобней, такое и выбирай. Для большинства электронных вычислительных машин выбрана двоичная система счисления (Р-159), в ней всего две цифры 1 и 0. И если после единицы нужно считать дальше, то есть если к единице надо прибавить следующую единицу, то нужно уже переходить в следующий разряд: 1 + 1 = 10 (это наше десятичное 2); 10 + 1 = 11 (а это 3); 11 + 1 = 100 (десятичное 4); 100 + 1 = 101 (десятичное 5) и т. д. (Р-159; 2).

На Р-159; 2 приведены таблицы пересчета некоторых чисел, записанных в привычной системе десятичного счета, в числа двоичной системы. А рядом на Р-159; 3 приводится простой пример сложения двоичных чисел. Нетрудно заметить, что правила арифметики для двоичных чисел очень просты, но вот запись этих чисел получается довольно громоздкой. Например, если для записи числа «миллион» в десятичной системе нужно всего семь знаков, то в двоичной системе для этого уже понадобится двадцать знаков.

Но зато у двоичной системы есть другое достоинство — для нее нужно всего два разных типа знаков — 0 и 1, в то время как для десятичной системы нужно 10 разных типов знаков — 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Возможность пользоваться всего двумя знаками оказалась решающей для того, чтобы использовать двоичную систему в электронных вычислительных машинах. Потому что огромное множество электронных схем — выключатели, триггеры, электронные реле, логические элементы И, ИЛИ, НЕ, мультивибраторы — работают в ключевом режиме, то есть находятся в одном из двух устойчивых состояний: «включено — выключено», или «пропускаю ток — не пропускаю ток», или «даю напряжение — не даю напряжение». Одним из таких устойчивых состояний можно выразить единицу двоичной системы счисления, а вторым — нуль и таким образом использовать названные электронные элементы, как и многие другие, для выполнения операций с двоичными числами.

Т-272. В машину двоичные числа вводятся в виде комбинаций электрических импульсов. Чтобы подробно рассказать об устройстве самолета, о том, как работают отдельные его агрегаты и системы, понадобилась бы, наверное, толстая книга, а то и многотомник. Но можно обойтись и несколькими страницами, если не вдаваться в подробности, назвать лишь самое важное, что позволяет многотонной машине подниматься в воздух, летать и маневрировать на большой высоте. Если изложить то, что принято называть принципом действия, и при этом, конечно, не бояться упрощений. Прежде всего, наверное, нужно будет рассказать о крыльях: если крыло определенной формы находится в потоке воздуха, то у него появляется подъемная сила. Вспомните о таком летательном аппарате, как планер, который держится в воздухе только благодаря подъемной силе крыла. Здесь необходимо будет пояснить главное — подъемная сила появляется, когда относительно крыла движется воздушный поток (или, наоборот, крыло движется относительно воздушного потока). А отсюда уже останется один шаг до двигателя, который создает движение самолета и тем самым обеспечивает появление подъемной силы.



ДЕСЯТИЧНАЯ СИСТЕМА	ДВОИЧНАЯ СИСТЕМА
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
20	1 0100
50	11 0010
100	110 0100
500	1 1111 0100
1000	11 1110 1000
10 000	10 0111 0001 0000
100 000	11 1000 0110 1010 0000
1 000 000	1111 0100 0010 0100 0000

В заключение можно будет рассказать о том, как работают рули высоты и поворота. Конечно, в такой ультракороткий рассказ не войдут многие интересные и важные подробности, например описание системы навигации или различных типов двигателей, не говоря уже о электропитании или автоматике тормозов, благодаря которой самолет с огромной скоростью (до 300 километров в час) ровно бежит по взлетно-посадочной полосе. Что поделаешь, пытаясь коротко рассказать о главном, о принципах, приходится жертвовать деталями, даже интересными и важными.

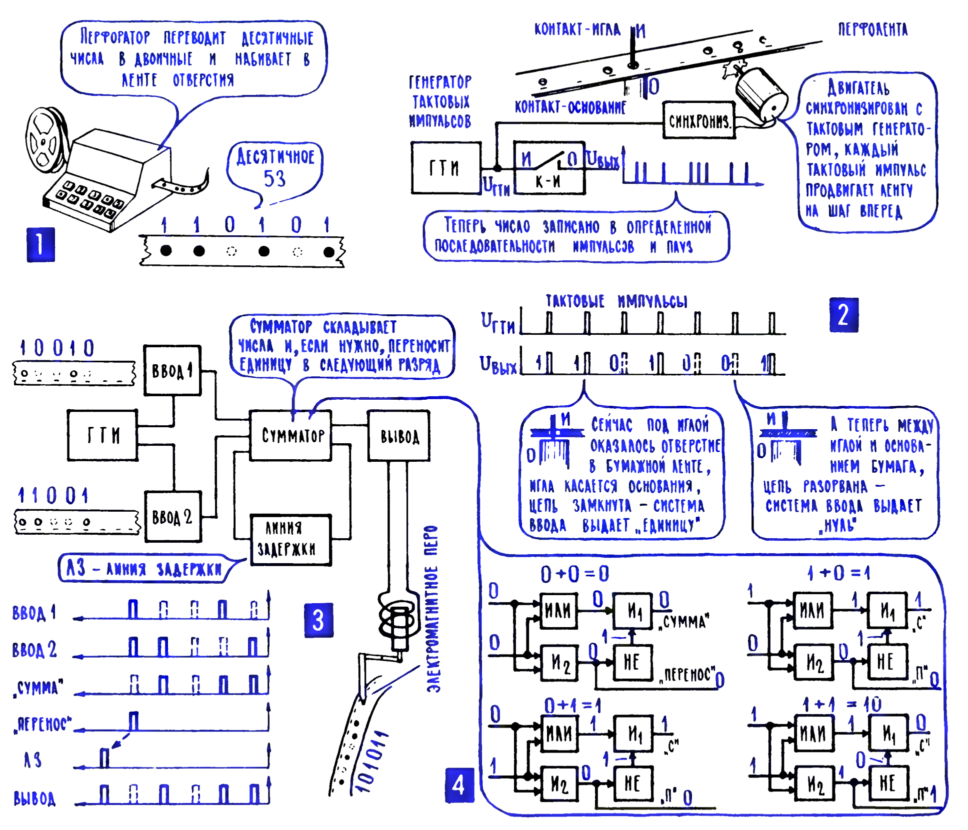
Нам предстоит познакомиться с принципом работы цифровых вычислительных машин, и с самого начала отметим, что ограничимся только одним основным их типом — тактовыми ЭВМ (иногда пишут ЭЦВМ — электронная цифровая вычислительная машина), работающими в двоичном коде. В такой машине имеется генератор тактовых импульсов ГТИ, который выдает непрерывную очередь ровных прямоугольных импульсов, размеренно следующих друг за другом. Тактовый генератор — это метроном, отбивающий ритм всей работы ЭВМ. И не только метроном, но еще и работник, поставщик первичного сырья для всей машины: из импульсов тактового генератора создаются последовательности двоичных чисел; импульс тока означает «единицу», а отсутствие очередного импульса на его обычном месте означает «нуль».

На рисунке Р-160; 1, 2 показан процесс ввода в простейшую **условную машину** некоторого числа. Все начинается с того, что оператор, получив десятичные числа, которые нужно сложить, превращает их в двоичные числа, которые переносят на бумажную ленту, определенным образом пробивая в ней отверстия. Получается перфорированная, то есть дырчатая, лента, а сокращенно — перфолента; дырка в ней соответствует «единице», а отсутствие дырки, точнее, ее пропуск соответствует «нулю». Все это внешне делается очень просто: оператор нажимает клавиши перфоратора, набирая

заданное десятичное число, а из аппарата сразу же выходит перфолента с дырками и пропусками, которые соответствуют нужному двоичному числу.

Теперь нужно с перфоленты ввести число в машину, превратить его из определенной последовательности отверстий в такую же последовательность импульсов тока. Эту задачу выполняет устройство ввода, используя в качестве сырья тактовые импульсы. В нашем устройстве ввода есть игольчатый контакт, который, замыкаясь, открывает дорогу импульсу тока из генератора ГТИ дальше в машину. Контакт этот, как видно из Р-160; 2, замкнут только в том случае, когда под иглой оказывается отверстие в перфоленте. Поэтому последовательность импульсов и пауз в точности повторяет последовательность дырок и пропусков в перфоленте, то есть отображает двоичное число, которое как раз и нужно было ввести в машину, протягивая ленту.

Т-273. Электронная схема «сумматор», манипулируя электрическими сигналами, может выполнять сложение двоичных чисел. Ввод чисел в машину, превращение их в комбинации электрических импульсов, конечно, не самоцель. С числами нужно работать, производить с ними различные математические операции. И сейчас мы посмотрим, как можно произвести одну из них — сложение. Чтобы сразу же не утонуть в подробностях, сделаем то, что реально никогда не делается: пристроим к ЭВМ сразу два устройства ввода (Р-160; 3) и через каждое из них введем в машину одно из двух слагаемых. Причем ввод начнем одновременно, как по выстрелу стартового пистолета. И начнем вводить числа с конца, с последнего разряда,— здесь нет ничего удивительного, сложение «в столбик» мы тоже начинаем с конца, с послед- Т-273



Р-160

них цифр, и от них постепенно движемся влево, в сторону старших разрядов. Обе серии импульсов, то есть оба наших слагаемых, одновременно подадим на сумматор, который и выполнит операцию сложения. В попытке кратчайшим путем пояснить принцип работы ЭВМ мы все время идем на неслыханные упрощения, но вот сумматор будет представлен в истинном своем виде. Во-первых, потому, что сумматор — один из основных элементов настоящих вычислительных машин. Ну, а во-вторых, сумматор — прекрасный пример того, как с помощью электронных схем остроумно решаются конкретные задачи переработки цифровой информации.

Что должен делать сумматор? Он должен последовательно, разряд за разрядом (начиная с конца), складывать «единицы» и «нули» первого и второго слагаемого. Причем здесь возможны такие четыре варианта: 0 + 0, 1 + 0, 0 + 1 и 1 + 1. Первые три операции прекрасно выполнила бы одна схема ИЛИ: в первом случае на ее выходе не было бы сигнала, а во втором и третьем на выходе появлялся бы импульс. И это как раз соответствовало бы известным правилам сложения 0+0=0; 1+0=1 и 0+1=1. Что же касается четвертого сочетания слагаемых, 1 + 1, то схема ИЛИ, конечно, не годится: под действием двух одновременных импульсов на ее входах она дала бы один стандартный выходной импульс, что соответствовало бы операции 1 + 1 = 1. А нам нужно, чтобы получилось 1 + 1 = 0 с переносом «единицы» в следующий разряд (Р-159; 3).

Вот этот перенос «единицы» в следующий разряд оказывается довольно сложной задачей. И решается она с помощью нескольких логических элементов, собранных по схеме Р-160; 4.

Здесь тоже все начинается со схемы ИЛИ — именно на ее вход одновременно подаются импульсы обоих слагаемых. Но с выхода ИЛИ они идут на выход «сумма» не сразу, а через элемент $И_1$. Как известно, схема И срабатывает только в том случае, если у нее на входе есть одновременно два сигнала, $И_1$, $И_2$ (Т-266). Это значит, что «единица» пройдет из ИЛИ через $И_1$ на выход сумматора только в том случае, если на вход $И_1$ вместе с этой «единицей» придет второй сигнал, в данном случае от логического элемента НЕ.

Посмотрим, в каких случаях это происходит.

Оба слагаемых подаются не только на ИЛИ, но одновременно еще и на элемент $И_2$, а с него сигнал поступает как раз на интересующий нас элемент НЕ. На Р-160; 4 показаны все возможные варианты суммирования двух одноразрядных чисел. В первых трех случаях 0 + 0, 1 + 0 и 0 + 1 элемент $И_2$ не срабатывает, так как на его входе нет необходимых для этого двух — именно двух и только двух! — одновременных импульсов. А значит, в этих случаях с $И_2$ на элемент НЕ ничего не поступает, этот элемент не срабатывает, и на его выходе действует нормальное выходное напряжение. Не забывайте, что элемент НЕ делает все наоборот: сигнал на его выходе существует, когда на вход элемента ничего не подается (Р-154; 5). А когда на вход сигнал подается — на выходе элемента НЕ сигнал исчезает. В итоге получается:

если на входах сумматора нет импульсов (0 + 0), то на его выходе тоже нет импульса — в этом случае на входе $И_1$ действует только сигнал, поступающий с НЕ, а его одного недостаточно для срабатывания $И_1$; элемент $И_2$ пока не срабатывает, на его вход тоже ничего не поступает;

если на входах сумматора появляется только один импульс (1 + 0 или 0 + 1), то на выходе «сумма» импульс появится — теперь на входе $И_1$, кроме напряжения, как и прежде поступающего с НЕ, появляется еще один сигнал — с ИЛИ, этих двух сигналов, с ИЛИ и с НЕ, уже достаточно для того,

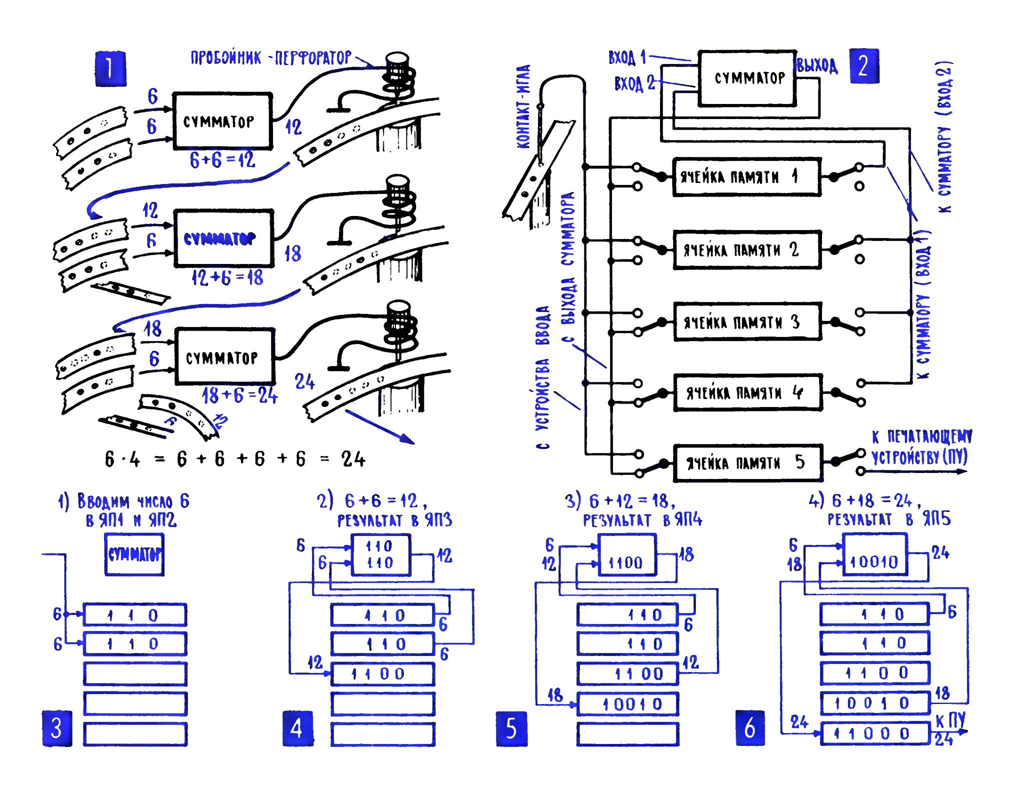
чтобы сработал элемент $И_1$, и на его выходе, то есть на выходе «сумма», появился импульс ($1 + 0 = 1$; $0 + 1 = 1$); элемент $И_2$ все еще не срабатывает: на его входе один импульс, а этого мало;

если на входах сумматора одновременно появятся два импульса ($1 + 1$), то на выходе «сумма» будет «ноль»: хотя к $И_1$, как и раньше, пройдет сигнал с ИЛИ, но исчезнет сигнал с НЕ. Потому что под действием двух одновременных входных импульсов ($1 + 1$) сработает наконец $И_2$ и при этом на входе НЕ появится сигнал, а на выходе исчезнет. И таким образом из-за исчезновения сигнала на выходе НЕ не сработает $И_1$, а значит, на выходе «сумма» окажется «ноль». Вот этого как раз мы и добивались, чтобы при появлении «единиц» одновременно на обоих входах сумматора на его выходе «сумма» был «ноль». Потому что $1 + 1 = 10$, то есть в первом разряде при сложении должен появиться «ноль», а во второй нужно перенести «единицу». «Ноль» на нужном месте у нас уже появился, что же касается «единицы», то ее снимают с выхода «перенос», то есть с выхода $И_2$, и направляют в линию задержки ЛЗ. Там эта «единица» ждет, пока на входах сумматора появятся импульсы или паузы следующего разряда («...ноль пишем, один в уме...»), и в нужный момент добавляется к ним. Чтобы решить эту задачу до конца, приходится собирать несколько более сложную схему, но это уже, как говорится, детали. Принцип действия сумматора остается без изменений: выполняя определенные логические операции, он складывает любые двоичные числа, перенося при необходимости «единицу» в следующий разряд и безошибочно формируя последовательность импульсов и пауз, в которых отображен результат сложения, записана сумма двух чисел. Если добавить к сумматору простейшее устройство вывода информации, например перо с электромагнитным приводом, то получится законченная электронная счетная машина для выполнения операции «сложение».

Эта условная машина введена в наш рассказ с той же целью, с какой вводился планер в рассказ о самолете,— «для выяснения некоторых принципов». Но если честно, то наша примитивная машина в сравнении с настоящими ЭВМ — это даже не планер, а, наверное, не больше чем бумажный голубь. И главное, принципиальное отличие нашего учебного компьютера от настоящих современных ЭВМ состоит в том, что в этих машинах имеется совершенная система автоматизации счета. Именно эта автоматизация работы с числами придает электронным счетным машинам совершенно новые качества, позволяет им самостоятельно решать чрезвычайно сложные задачи.

Т-274. Оперативная память, введенная для того, чтобы упростить выполнение арифметических операций, радикально меняет возможности компьютера. Счетная машина с сумматорами может производить не только сложение, но и вычитание, пользуясь для этого так называемыми обратными числами. Обратное число получают из обычного двоичного числа, заменив все «нули» на «единицы», а «единицы» на «нули». Математики научились заменять вычитание прибавлением обратного числа с некоторыми дополнительными операциями, которые легко может выполнить суммирующая машина. Т-274

С помощью сумматора в принципе можно и умножать. В нашей простейшей машине для этого нужно вместо электромагнитного пера (устройство вывода информации) установить перфоратор. Теперь полученная сумма будет представлена новой перфолентой (Р-161; 1), и для умножения эту перфоленту нужно будет запускать на вход машины и свести умножение к последовательному сложению. Применительно к десятичной системе это, например, может выглядеть так — $4 \cdot 6 = 6 + 6 + 6 + 6 = 24$; последователь-



ность действий: $6 + 6 = 12$, результат вновь подаем на вход машины и производим операцию $12 + 6 = 18$; результат вновь подаем на вход машины и производим операцию $18 + 6 = 24$. Подобным же образом легко выполнить суммирование нескольких чисел, например суммирование $2 + 7 + 4 + 5 + 1$ произвести так: $2 + 7 = 9$; $9 + 4 = 13$; $13 + 5 = 18$ и, наконец, $18 + 1 = 19$.

Конечно, суммировать несколько слагаемых или умножать таким способом довольно сложно, нужно каждый раз получать перфоленту с промежуточным результатом, перебрасывать ее с выхода на вход и начинать повторное считывание. В попытке упростить операцию умножения или многократного сложения мы сейчас введем еще один элемент, который, как потом выяснится, может вообще в корне изменить принцип работы машины, резко поднять ее математическую квалификацию. Мы введем в машину память.

Память вычислительной машины — это устройство, в котором можно записать определенную последовательность электрических импульсов, а затем в нужный момент воспроизвести эту последовательность, то есть извлечь число из памяти. Перфолента, вообще-то говоря, тоже память, но память очень неудобная для оперативной работы с числами; мы сейчас придумаем что-нибудь получше.

Во-первых, для создания памяти ЭВМ можно использовать уже знакомую нам систему запоминания электрических сигналов — магнитную запись. И нужно сказать, что магнитная память, магнитная запись сигналов, широко используется в ЭВМ. Сигналы записывают на широкой магнитной ленте, на магнитных барабанах или дисках, а в некоторых случаях даже на ленте в стандартных магнитофонных кассетах. Во всех этих случаях устройство памяти в принципе очень напоминает обычный магнитофон. Кроме того,

в ЭВМ встречается память на магнитных элементах, она совсем не похожа на магнитную запись звука в магнитофонах, хотя в обоих случаях для запоминания электрических сигналов используется одно и то же явление — остаточная намагниченность. Одна из разновидностей «запоминающих магнитиков» — цилиндрические магнитные домены, ЦМД. Это микроскопические области внутри кристалла, их намагничивают и перемещают к считывающему устройству внешними магнитными полями, подобно тому как электрическими полями перемещают дырки внутри полупроводникового кристалла.

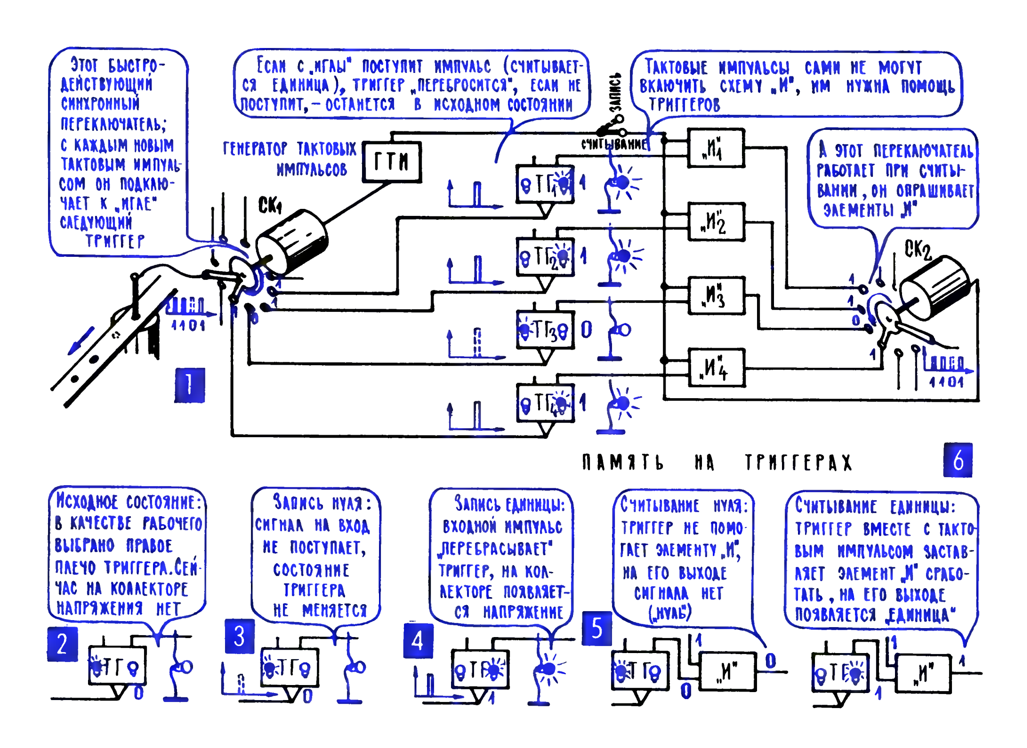
Память электронной вычислительной машины выполняют и на триггерах (Т-181). Триггер может находиться в одном из двух устойчивых состояний, одно из них можно использовать для запоминания «единицы», второе — для запоминания «нуля». Широко используется и так называемая динамическая память. Здесь запоминающий элемент — просто конденсатор. Когда конденсатор заряжен, в нем записана «единица», когда разряжен — «ноль». А поскольку конденсатор постепенно разряжается, его все время подзаряжают. В принципе это несложно: машина тактовая и можно сделать так, что каждый тактовый импульс будет подбавлять немного энергии конденсаторам. Но конечно, только уже заряженным, то есть только тем, которые помнят «единицу».

Прежде чем говорить об устройстве памяти, несколько слов о том, что вообще может дать память счетной машине. Во-первых, она может избавить от необходимости одновременно и синхронно вводить в машину оба слагаемых при их суммировании (Р-161) — слагаемые можно поочередно и не торопясь записать в память, а затем в момент их складывания одновременно направить из памяти прямо в сумматор. При умножении можно записывать в память промежуточные суммы и для повторного суммирования извлекать их оттуда одновременно с нужным сомножителем. Точно так же можно хранить и любые другие результаты промежуточных вычислений и исходные данные, условия задачи, разного рода справочные сведения, например число «пи» или основание натуральных логарифмов. В нужный момент все это можно вводить в вычисления или выдавать в виде справки.

И наконец, самое главное: в память в закодированном виде можно ввести программу вычислений и доверить самой машине всю последовательность математических действий, то есть управление машиной можно доверить самой машине, автоматизировать вычисления.

На Р-162; 1 очень упрощенно показана схема, которая может запомнить четырехразрядное двоичное число. Элементы памяти в ней — триггеры; увеличив их количество, можно запоминать любые большие числа; блок триггеров для запоминания одного числа образует ячейку памяти ЯП. В процессе записи быстродействующий синхронный коммутатор $СК_1$ во время каждого тактового импульса поочередно подключает к триггерам устройство ввода информации, в данном случае контакт-иглу, под которой движется перфорированная лента. В исходном состоянии во всех триггерах правый транзистор открыт, и на его коллекторе напряжение равно нулю — все остается на нагрузке; левый транзистор закрыт, и на его коллекторе почти полное напряжение питания — на рисунках это отображено светящейся лампочкой. Такое состояние триггера — правый транзистор открыт, левый закрыт — будем считать нулем (триггер запомнил 0), а второе его состояние — правый транзистор закрыт, левый открыт — будем считать единицей (триггер запомнил 1). Если с иглы поступит импульс на вход триггера, то он перейдет в другое устойчивое состояние; а если импульс не поступит, триггер останется в прежнем состоянии.

Р-162



Вот так каждый триггер запоминает «единицу» или «нуль», запоминает один из разрядов числа, которое вводится в память.

Теперь о том, как вспоминается нужное число.

Извлечение числа из памяти происходит с помощью элемента И, на один из входов которого подаются тактовые импульсы, причем одного лишь тактового импульса недостаточно для срабатывания элемента И. Другой вход элемента И подключен к «своему» триггеру. Если правый транзистор закрыт (триггер помнит 1), то с его коллектора снимается «минус» — второе напряжение, необходимое для срабатывания элемента И (Р-162; 4, 6). В этом случае из блока памяти выдается импульс — «единица». А если правый транзистор триггера открыт (триггер помнит 0), то на его коллекторе напряжения нет, элемент И не срабатывает и из памяти никакой импульс не выдается, что, как известно, соответствует «нулю» (Р-162; 3, 5).

Считывание информации из памяти не меняет режима триггеров, они будут как угодно долго помнить число, которое в них записано. Чтобы стереть информацию, нужно все триггеры каким-то внешним воздействием вернуть в исходное состояние. Кроме того, конечно, триггеры все забудут, если снять с них питание, например отключить вычислительную машину от электросети. Когда вы вновь включите машину, то ничто не заставит триггер вернуться именно в то состояние, в котором он был перед выключением. В этом состоит основной недостаток памяти на триггерах, в частности, в сравнении с магнитной памятью.

Машинную память, оперативно участвующую в вычислениях, например хранящую промежуточные результаты или числа, которые нужно вводить в сумматор, называют оперативной памятью. А блок такой памяти — это оперативное запоминающее устройство, ОЗУ, как правило, оно сделано на триггерах. Кроме того, в вычислительной машине есть ПЗУ, постоянное за-

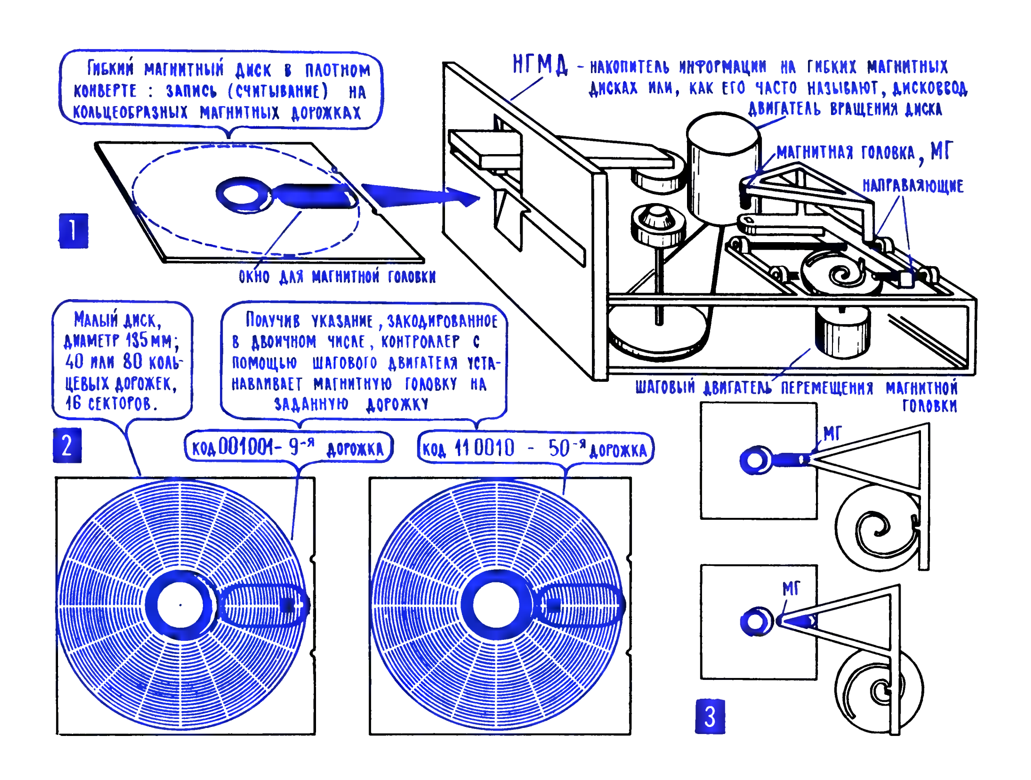
поминающее устройство. В него, в отличие от ОЗУ, ничего записать нельзя — все, что должно помнить ПЗУ (например, стандартные последовательности действий сумматора при умножении или вычитании), в него записано, «зашито» при изготовлении машины. Запись какого-нибудь числа в ОЗУ и его считывание из ОЗУ и ПЗУ происходит очень быстро, на это уходят миллионные доли секунды. Есть в машинах еще и внешняя долговременная память, чаще всего на магнитной ленте или на магнитном диске (Р-163). В долговременной памяти может храниться очень много информации, но, чтобы найти ее и считать из памяти, нужны уже не миллионные доли секунды, а секунды и минуты.

Элементы оперативной памяти объединяют в ячейки, в каждой ячейке столько элементов памяти, сколько разрядов может быть в числе, на которое рассчитана машина. Так, например, для машины, рассчитанной на работу с двадцатиразрядными двоичными числами (в десятичной системе это могут быть числа до миллиона), нужны ячейки памяти, в каждой из которых 20 запоминающих элементов, например 20 триггеров.

Т-275

Т-275. Скромные труженики компьютера — электронные переключатели и дешифраторы — выполняют гигантский объем работ, обеспечивают четкое взаимодействие всех узлов ЭВМ, а в итоге саму возможность автоматизированных вычислений. Итак, в нашем распоряжении есть оперативная память на триггерах, но для введения ее в счетную машину нужно еще создать реальный синхронный коммутатор. Нужно, чтобы первый импульс попадал в первый элемент памяти и к моменту появления второго импульса контакт-игла уже была бы подключена ко второму элементу памяти. И при считывании информации нужно обеспечить своевременное переключение элементов памяти, причем очень быстрое, с частотой тактовых импульсов. В современных ЭВМ частота тактовых генераторов — это мегагерцы, то есть миллионы

Р-163

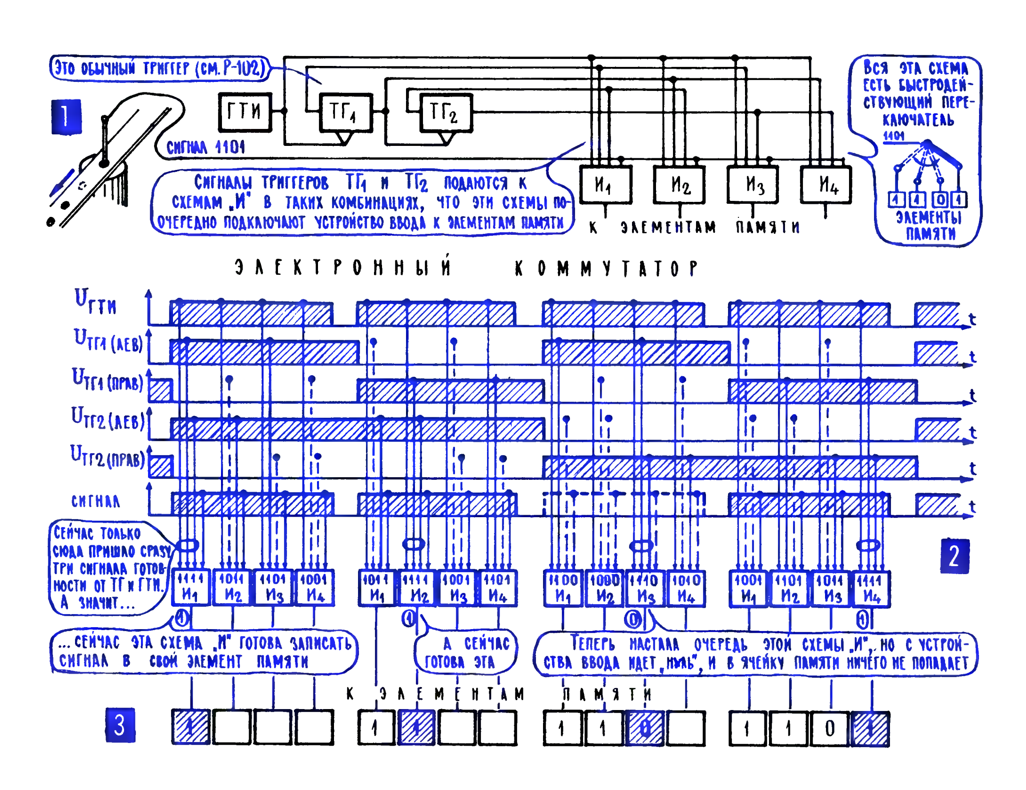


импульсов в секунду. При такой частоте синхронный коммутатор должен производить переключения за миллионные доли секунды, что совершенно неприемлемо для механических систем, таких, например, как телефонный шаговый искатель (Т-111). К счастью, были созданы чисто электронные схемы коммутаторов, которые, как и другие электронные схемы, могут работать очень быстро.

Одна из таких коммутирующих схем в упрощенном виде показана на Р-164. Ее основа — счетчик из двух триггеров, $ТГ_1$ и $ТГ_2$, и четыре элемента И, каждый из которых работает на свой элемент памяти: $ЭП_1$, $ЭП_2$, $ЭП_3$ и $ЭП_4$. При этом у каждой схемы И — четыре входа, она срабатывает только в том случае, если на эти входы одновременно приходит четыре сигнала — *и* первый, *и* второй, *и* третий, *и* четвертый. Один из этих сигналов — импульсы тактового генератора, они передаются на все И одновременно и синхронизируют их работу: что бы там ни произошло, любое И будет срабатывать только в момент существования тактового импульса.

Итак, элементу И для срабатывания нужно четыре отпирающих сигнала, и один уже есть. Два из трех оставшихся сигналов идут от триггеров, причем в такой комбинации, что на разные элементы И приходят разные пары отпирающих сигналов, разные комбинации напряжений, получаемых от четырех разных транзисторов. В итоге получается, что к каждому из четырех И такие пары сигналов от триггеров приходят в разное время. А это значит, что наши четыре схемы И поочередно готовы сработать и записать сигнал, каждая в свою ячейку памяти. Но, конечно, для такого срабатывания, для записи сигнала в память, нужен сам этот сигнал — нужен четвертый по счету импульс на входе схемы И; он приходит с контакт-иглы, с устройства ввода, когда происходит считывание «единицы».

Р-164



Когда этот импульс-единица появится, то тут же произойдет запись «единицы» в элемент памяти. Именно в тот элемент, на входе которого в данный момент действует «великолепная тройка»: тактовый импульс и два импульса с триггеров. Ну, а если в устройстве ввода в данный момент считывается «нуль», то в элемент памяти ничего не попадает, то есть в него и будет записан «нуль». А схема быстро подключит к устройству ввода следующий элемент памяти: ведь это основная ее задача — поочередно подключать к устройству ввода элементы памяти, чтобы на них записывались «единицы» или «нули».

Сумматор, оперативная память, быстродействующие коммутаторы — это, к сожалению, еще не все, что жизненно необходимо для электронной счетной машины. Нужно еще научиться писать и читать адреса, которые исключают путаницу при пересылке чисел. По этим адресам данное число будет записано в строго определенную ячейку памяти, а затем при считывании число будет безошибочно извлекаться только из той ячейки, из которой нужно, а не из какой-либо другой. Для этого в память будет направлен запрос — адрес того числа, которое понадобилось в данный момент для вычислений. Адрес записывают тем же способом, что и сами числа, то есть в виде определенной комбинации импульсов и пауз, а получатели чисел — сумматоры, ячейки памяти и другие — знают, что, скажем, первые четыре знака — это адрес числа, а само оно начинается только после этих четырех знаков (Р-165). Поэтому в арифметических действиях первые четыре знака не учитываются: сделать это нетрудно, например выключив сумматор на первые четыре такта с помощью триггерного счетчика. Запись адреса предназначена только для специальной схемы — дешифратора, задача которого разобраться в этой записи и направить число адресату.

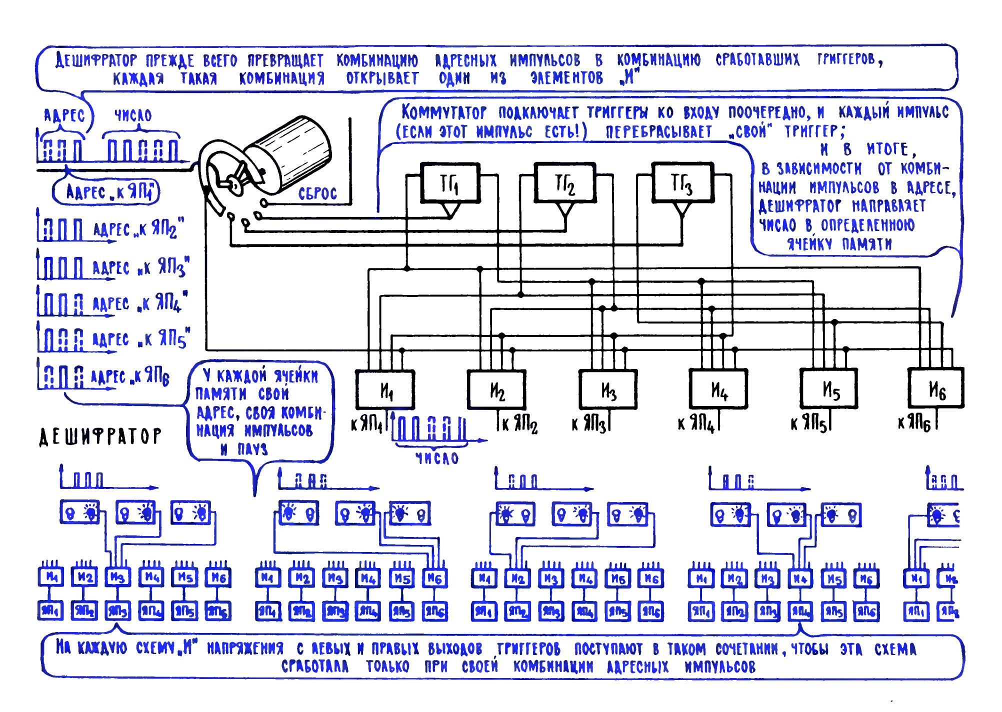
В принципе дешифраторы работают просто, лишний раз демонстрируя, как красиво электроника умеет решать очень сложные, казалось бы, задачи. На Р-165 показан дешифратор, который может сортировать шесть разных четырехзначных адресов и рассылать их шести адресатам. Основа дешифратора — хорошо знакомые нам элементы И (Т-267), каждый из них срабатывает только в том случае, если на его входе одновременно действуют два сигнала. А сигналы эти поступают на вход элементов И с трех триггеров, на которые через синхронный коммутатор подаются импульсы адреса. В зависимости от комбинации этих импульсов адрес в разных сочетаниях устанавливает режимы триггеров, и эти сочетания как раз и определяют, какой элемент И сработает и куда пойдет число.

Настал момент подвести некоторые итоги. Пытаясь упростить операцию последовательного сложения в суммирующей машине, мы ввели в нее оперативную память, быстродействующий коммутатор и систему адресов с дешифраторами. И оказывается, что именно эти наши нововведения не только делают более удобной простейшую суммирующую машину, но и позволяют автоматизировать весь процесс вычислений, создать принципиально новый вид автоматов для переработки информации.

А сейчас от нашего «бумажного голубя», от условного компьютера, с элементами которого мы только что познакомились, попробуем перейти к реальной ЭВМ. Но для этого нам предстоит провести еще одну подготовительную операцию.

Т-276. Вычислительная машина может работать с числами, со словами и с рисунками. Как говорит само название, работа вычислительной машины состоит в том, что она вычисляет, производит различные математические операции с числами. Но часто приходится решать задачи, которые удобней Т-276

Р-165



или, во всяком случае, привычней формулировать словами, хотя потом можно решать эти задачи, превратив слова в числа, то есть комбинации букв превратив в комбинации цифр. Вот очень простые примеры, хотя, может быть, не самые удачные: когда вы хотите по телефону узнать время, то набираете цифру «100»; но нетрудно представить себе телефонный аппарат с клавиатурой, как в буквопечатающем телеграфном аппарате (Р-67; 4) — вы набираете на этой клавиатуре слова «Который час?», в результате чего появляются определенные комбинации электрических сигналов (Р-67; 5, 6), а не очень сложная электронная схема формирует из них сигналы, соответствующие цифре «100» в обычном телефоне. Другой пример: по заданной вами программе ЭВМ суммирует массу всех деталей автомобиля и определяет его общую массу; результат появляется на бумажной ленте, его выдает особый цифропечатающий аппарат; вы запомнили, что в машину вводилась масса деталей в килограммах, и, значит, суммарная масса тоже получится в килограммах; но можно было бы не обременять свою память, подключив к компьютеру аппарат, печатающий не только цифры, но и буквы; у каждой буквы свой код из «единиц» и «нулей», то есть из импульсов и пауз; в нужный момент машина 9 раз извлечет из памяти соответствующий код и рядом с цифрой ответа отпечатает слово «килограмм».

Итак, кодируя буквы комбинациями импульсов и пауз, в ряде случаев для удобства можно вводить в машину слова или получать слова в ее ответах.

Теперь о рисунках.

Рассмотрим случай, когда машина решает уже знакомую нам задачу — подсчитывает массу многоступенчатой ракеты, по мере того как она набирает высоту (Р-43; 3): масса уменьшается потому, что постепенно выгорает топливо и поочередно «отстреливаются» отработавшие ступени. Машина выдает результат в виде двух колонок чисел: в одной колонке высота, в другой — соответствующая ей масса ракеты. Теперь введем в вычислительную

машину загадочный пока электронный блок КД, который свяжет ее с телевизором.

В исходном состоянии электронный луч, который «зажигает» экран телевизора, «задавлен» большим запирающим напряжением, и поэтому экран не светится. Снять это запирающее напряжение может электрический импульс, поступивший из блока КД,— в момент появления этого импульса электронный луч ударит по экрану и на нем появится светящаяся точка. В каком месте? В телевизоре генераторы развертки непрерывно двигают луч, и он строку за строкой прочерчивает весь экран (Т-253, Т-258). Поэтому место появления светящейся точки зависит от того, в какой момент будет подан в телевизор отпирающий импульс из блока КД.

А теперь представьте себе, что в блок КД поступают результаты вычислений, те самые две колонки чисел «высота» — «масса». И каждое число, как некий код, управляет задержкой отпирающего импульса, а значит, местом появления светящейся точки. Причем управляет так, что числа из колонки «высота» определяют положение светящейся точки в горизонтальном направлении, а числа из колонки «масса» — в вертикальном. Так каждая пара чисел в определенном месте ставит светящуюся точку, точки сливаются в сплошную линию, и в итоге весь результат вычислений предстает на экране в виде графика. Точно так же, управляя «зажиганием» точек на экране телевизора, числа, поступающие из компьютера, могут рисовать схемы, чертежи, писать цифры и буквы. Ведь что такое, скажем, написать букву «Т»? Для этого нужно одну под другой зажечь точки на нескольких соседних строках (вертикальная палочка буквы «Т») и зажечь несколько соседних точек на одной строке (горизонтальная палочка). Аналогично из сливающихся точек образуется и любая другая буква. Порядок действий здесь может быть таким: дешифраторы по сочетанию импульсов и пауз распознают код буквы (так же, как они распознают адрес; Т-275) и включают соответствующую этой букве систему выдачи импульсов, которые и зажгут необходимый набор точек на экране.

Точно найти момент выдачи импульса и зажечь таким образом точку в нужном месте экрана в принципе не так сложно: в телевизоре электронный луч прочерчивает строку примерно за 60 *мкс*, за это время тактовый генератор с частотой 10 *МГц* выдаст 600 импульсов, любой из них можно отсчитать с помощью триггерных цепочек, выделить и использовать в качестве отпирающего. Даже на сравнительно большом экране точка будет при этом иметь размеры меньше миллиметра.

Устройство с телевизионным экраном для вывода информации из ЭВМ — это дисплей (от английского «ту дисплей» — «показывать»), его роль может выполнять и обычный телевизор с несложной приставкой. Ну а блок КД — это контролер дисплея, система, управляющая им, целый специализированный компьютер, необходимый для того, чтобы сочетания импульсов и пауз на выходе ЭВМ мгновенно превращались в буквы и рисунки на экране дисплея.

Ближайшие родственники дисплея — это так называемые графопостроители: по командам, полученным из машины, они перемещают по листу бумаги перо с электромагнитным управлением и вычерчивают графики, схемы или чертежи, вычисленные компьютером.

Вы, конечно, помните, что для того, чтобы не было мельканий картинки, все воспроизведенное на телевизионном экране нужно повторять 25 раз в секунду, с частотой кадров. Удобно хранить весь кадр в оперативной памяти ЭВМ — оттуда его можно брать сколько угодно раз и в любой момент. Но какой должна быть вместимость памяти для хранения кадра? Сколько в ней

должно быть триггеров? И какой объем памяти нужно иметь для хранения в ней слов, закодированных двоичными числами?

Чтобы оценивать что-либо количественно, нужно, как всегда, договориться о единицах измерения (Т-29). Количество информации принято измерять в битах, и эту единицу нам проще всего определить как один разряд двоичного числа, то есть одну единицу или ноль, один импульс или паузу. Так, двоичное число 101 110 010 111 содержит 12 бит информации, число 1101 — 4 бита, двоичное число 1 — один бит. В компьютерной технике и электросвязи чаще пользуются более крупной единицей информации 1 байт = 8 бит, а также производными единицами 1 килобайт ≈ 1000 байт; 1 мегабайт ≈ 1000 килобайт; 1 гигабайт ≈ 1000 мегабайт. Знак примерного равенства (≈) понадобился потому, что каждая следующая единица не в 1000, а в 1024 раза больше предыдущей.

Чтобы определить количество информации, которую содержит газетная фотография, буква алфавита или книга, проще всего найти их эквивалент в виде двоичных чисел. Можно, например, представить себе экран дисплея состоящим из 520 000 точек (Т-256), каждая из которых может светиться (1) или быть темной (0). Чтобы точку за точкой описать состояние всего экрана, понадобится двоичное число, в котором 520 000 разрядов — цепочка из 520 000 единиц и нулей. То есть картинка на экране содержит информацию 520 000 бит ≈ 65 000 байт ≈ 65 килобайт. Заметьте, это в том случае, когда для описания каждой точки нужна информация всего один бит — «светится» или «не светится», 1 или 0. Если же у точки может быть несколько уровней яркости — «белый», «светло-светло-серый», «светло-серый», «серый» и т. д. — или несколько цветов, то объем информации одного кадра увеличится во много раз.

Двоичным кодом, как мы уже знаем, можно представить и буквы алфавита (Р-67; 6), в компьютерах это делается в принципе так же, а в деталях несколько иначе, чем в телеграфии. Существует такое соотношение: двоичными числами, имеющими n разрядов, можно закодировать 2^n объектов. Так, скажем, трехразрядное двоичное число может иметь $2^3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ «модификаций» — 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. Эти восемь троек могут быть кодами, «этикетками» для 8 объектов, и каждый из них, представленный трехразрядным числом, будет нести 3 бита информации. В нашем алфавите 33 буквы или 32, если смириться с тем, что буквы *и* и *й* или *е* и *ё* будут иметь одинаковый шифр, то есть будут неразличимы. Чтобы зашифровать, закодировать двоичными числами 32 буквы, нужны пятиразрядные двоичные числа, так как $2^5 = 32$. При этом, чтобы записать в ОЗУ слово, скажем, из 10 букв, нужно 50 триггеров — они запомнят 10 букв по 5 бит информации (пятиразрядное число) в каждой.

В большинстве компьютеров букву алфавита кодируют не пятиразрядным, а восьмиразрядным числом, то есть тратят на букву не 5 бит, а 8 бит = = 1 байт. На первый взгляд это может показаться ненужной расточительностью — восьмиразрядными числами можно закодировать $2^8 = 256$ объектов, а букв всего 33. Но кроме строчных (маленьких) букв есть еще прописные (большие), есть примерно десяток знаков препинания, как правило, нужен и латинский алфавит, знаки арифметических и алгебраических действий и ряд вспомогательных знаков, таких, например, как №, § и другие. Так что восьмибитового кода только-только и хватает.

Вот несколько иллюстраций, которые помогут почувствовать, что стоит за появившимися у нас единицами бит, байт, килобайт, мегабайт, гигабайт.

В этой книге на странице без рисунков в тексте примерно 3500 букв, то есть около 3,5 килобайта (из расчета 1 буква — 8 бит, то есть 1 байт). В одном томе Большой советской энциклопедии 4—5 мегабайт, а во всей энциклопедии — более чем 200 мегабайт. Если человек будет всю свою жизнь непрерывно по 18 часов в сутки говорить, то в записи всего, что он скажет, окажется около 20 тысяч мегабайт, то есть 20 гигабайт информации. В каждом телевизионном кадре несколько сот килобайт, в часовой программе — несколько тысяч мегабайт, в небольшой газетной фотографии — сотня килобайт.

Этими сведениями завершается наша подготовка, и мы переходим к знакомству с реальной ЭВМ (Р-166).

Т-277. Основные узлы ЭВМ: процессор, оперативная, постоянная и внешняя память, устройства ввода и вывода информации, линии внутренней связи. Т-277

В нашей условной ЭВМ есть сумматор — схема, которая умеет складывать два двоичных числа (Т-273). Кроме того, существуют схемы, которые могут выполнять и другие арифметические операции. Так, в сумматоре можно выполнить вычитание, если одно из чисел заменить на обратное (например, вместо 1010 взять 0101) и выполнить еще кое-какие процедуры. А обратное число легко получить с помощью элементов НЕ — они как раз и превращают 0 в 1 и 1 в 0. Если же записать двоичное число в цепочке триггеров, именуемой регистром, а затем управляющим импульсом сдвинуть это число на один разряд влево, то оно окажется умноженным на 2 (С-16). Пример: число 110 011 (десятичное 51) сдвигаем в регистре влево на один разряд и получаем 1 100 110 (десятичное 102). Два таких сдвига — это умножение на 4, три сдвига — умножение на 8 и т. д. Возможны и различные комбинированные действия, например, два сдвига и прибавление первоначального числа дают умножение на 5; суммирование результатов умножения числа на 8 и на 2 — это умножение данного числа на 10. Пример: $4 \times 10 = 4 \times 8 + 4 \times 2 = 40$.

Все элементы компьютера, выполняющие арифметические операции и различные их сочетания, объединены в АЛУ — арифметико-логическое устройство. Быстродействующие коммутаторы производят в АЛУ переключения, необходимые для выполнения заданной операции, а управляет коммутаторами поступающий в АЛУ код операции — двоичное число, которое распознают дешифраторы. Командует всей этой системой устройство управления УУ, которое в свою очередь запрашивает из ОЗУ и получает оттуда, опять-таки в закодированном виде, программу вычислений. И здесь работают неутомимые труженики — коммутаторы и дешифраторы. Последние распознают поступающие из ОЗУ закодированные двоичными числами общие указания программы «...сложить полученный в предыдущем действии результат с первым введенным числом...», и УУ превращает эти общие указания в конкретные, направляемые в ОЗУ, ПЗУ и АЛУ команды «...переключить АЛУ на режим сложения...», «...извлечь число из ячейки 011 011 ОЗУ и направить его на вход 1 АЛУ...», «...извлечь число из ячейки 010 001 ОЗУ и направить его на вход 2 АЛУ...», «...произвести сложение...», «...результат направить в ячейки 101 101 ОЗУ...». Все, что сказано здесь словами «извлечь», «направить», «произвести», сводится в итоге к очень четким и согласованным последовательным переключениям по сигналам отбивающего такт метронома — тактового генератора. Руководит выполнением этих переключений безупречный диспетчер — устройство управления УУ.

Комплекс АЛУ — УУ есть главная действующая сила вычислительной машины. Этот комплекс шаг за шагом, такт за тактом продвигает вперед вычисления, он так и называется — продвигатель, процессор (от латинского

слова «процессус» — «продвижение»). Ближайшие сотрудники процессора — ПЗУ и особенно ОЗУ. Отсюда процессор может запросить инструкции на очередные свои действия, из ОЗУ он получает исходные данные и программу вычислений, сюда же, в ОЗУ, процессор направляет промежуточные и окончательные результаты. Программа и исходные данные попадают в ОЗУ из устройства ввода, и отсюда же, из ОЗУ, окончательный результат уходит в устройство вывода.

Здесь, пожалуй, уместно сделать два важных сообщения.

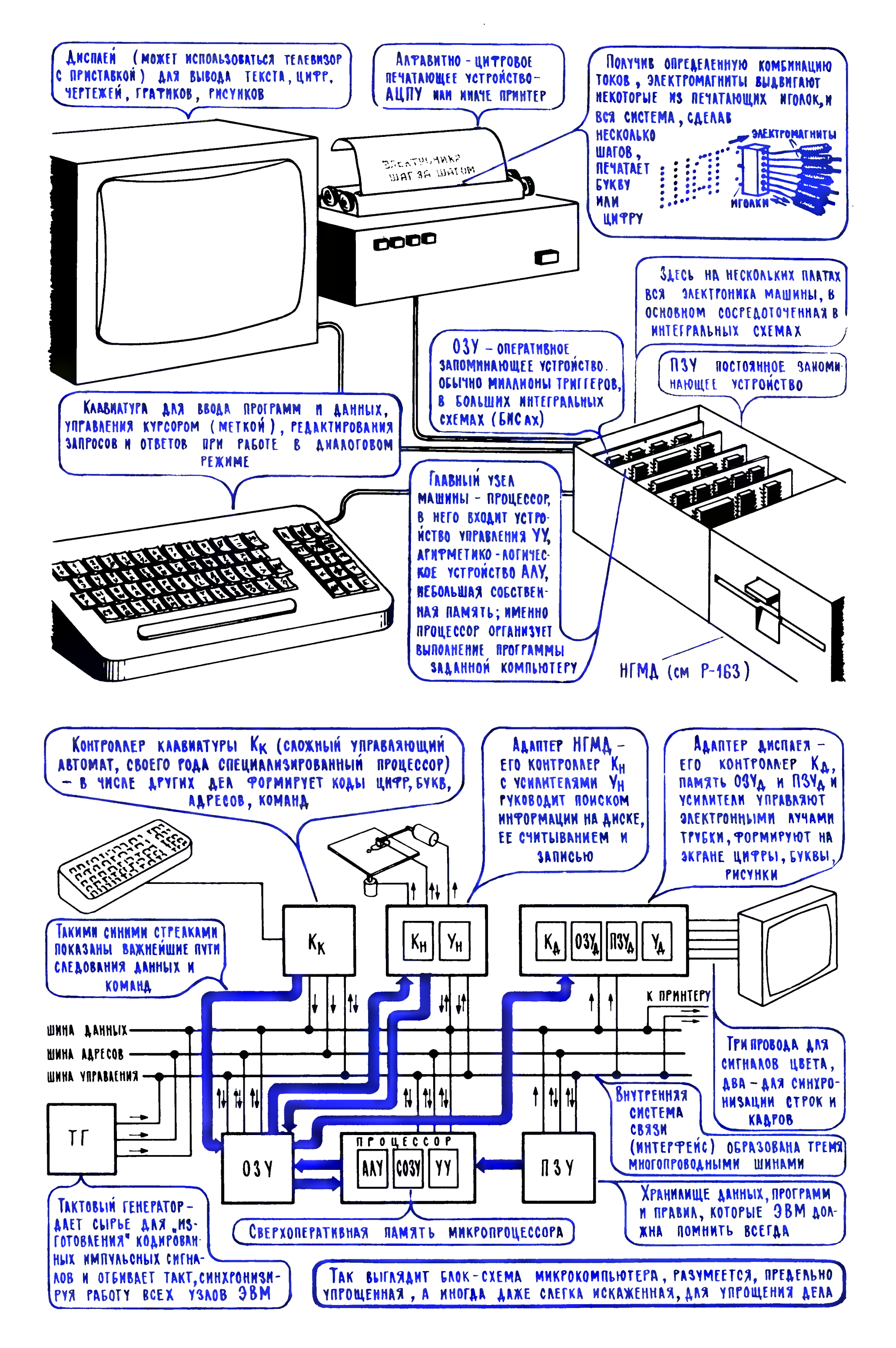
Первое. Из всего многообразия современных вычислительных машин мы выбрали для знакомства самую небольшую — микроЭВМ. И даже более конкретно: выбрана одна из разновидностей микроЭВМ — персональный компьютер, ПК (Р-166). В нем есть много такого, что можно встретить во всех других машинах, но есть, конечно, и свои особенности.

Второе. В нашей условной машине (Р-160) импульсы и паузы какого-либо числа, так же как импульсы и паузы адресов и команд, шли последовательно, друг за другом, напоминая короткие пулеметные очереди. Но во всех современных машинах это, скорее, залпы из многоствольного миномета — импульсы и паузы какого-либо числа, адреса или команды рождаются, путешествуют и обрабатываются одновременно, параллельно, что, конечно, намного ускоряет все операции. Если, например, машина работает с восьмиразрядными числами, то все ее узлы соединены восьмипроводными линиями (проводами), по которым одновременно движутся все восемь электрических импульсов и пауз данного числа («движется пауза» надо понимать так — по проводу в данный момент ничего не идет). Более того, внутренняя система связи компьютера — это три линии, как говорят обычно, три шины: шина данных, шина адресов и шина управления. И все это многопроводные линии, по которым одновременно идет и все целиком обрабатываемое число, и весь адрес, и вся команда управления.

Естественно, что такая система требует сложнейшей диспетчеризации и вместе с процессором работает несколько его помощников — контрóллеров. В их числе, например, контроллер клавиатуры, с которой вводятся исходные данные и программа, контроллер печатающего устройства — принтера, контроллер устройства внешней памяти на магнитных дисках и уже знакомый нам контроллер дисплея, блок КД.

Важнейшая характеристика ЭВМ — объем ее оперативной памяти, и чем больше емкость ОЗУ, тем больше информации компьютер может «держать в уме», тем большими объемами данных может ворочать и более сложные задачи решать. Емкость ОЗУ типичного персонального компьютера — 60—200 килобайт, а большой ЭВМ — в сотни раз больше, десятки мегабайт. Но как бы ни была велика собственная, внутренняя память ЭВМ, ею одной все равно обойтись нельзя.

Компьютер — это универсальная вычислительная машина, ей обычно приходится решать сотни и тысячи разнообразных задач, работать по самым разным программам, для каждой из которых может быть множество конкретных частных условий. Все это в ОЗУ, конечно, поместить невозможно да и не нужно. Память машины делают двухступенчатой — имеется библиотека программ, типовых решений, информационных текстов и т. п., и все это в стандартном виде, записано на магнитной ленте или на магнитных дисках. Когда нужно, определенный кусок этих записей (специалисты говорят «файл»), например конкретную программу для расчета мостов или программу игры в шахматы, переписывают в ОЗУ. Таким образом, хранившаяся на диске или ленте информация становится доступной процессору, он может


Дисплей (может использоваться телевизор с приставкой) для вывода текста, цифр, чертежей, графиков, рисунков
Алфавитно-цифровое печатающее устройство — АЦПУ или иначе принтер
Электроника шаг за шагом
Получив определенную комбинацию токов, электромагниты выдвигают некоторые из печатающих иголок, и вся система, сделав несколько шагов, печатает букву или цифру
электромагниты
иголки
Здесь на нескольких платах вся электроника машины, в основном сосредоточенная в интегральных схемах
ОЗУ — оперативное запоминающее устройство. Обычно миллионы триггеров, в больших интегральных схемах (БИС ах)
ПЗУ постоянное запоминающее устройство
Клавиатура для ввода программ и данных, управления курсором (меткой), редактирования запросов и ответов при работе в диалоговом режиме
Главный узел машины — процессор, в него входит устройство управления УУ, арифметико-логическое устройство АЛУ, небольшая собственная память; именно процессор организует выполнение программы заданной компьютеру
НГМД (см Р-163)
Контроллер клавиатуры $К_К$ (сложный управляющий автомат, своего рода специализированный процессор) — в числе других дел формирует коды цифр, букв, адресов, команд
Адаптер НГМД — его контроллер $К_Н$ с усилителями $У_Н$ руководит поиском информации на диске, ее считыванием и записью
Адаптер дисплея — его контроллер $К_Д$, память $ОЗУ_Д$ и $ПЗУ_Д$ и усилители управляют электронными лучами трубки, формируют на экране цифры, буквы, рисунки
Такими синими стрелками показаны важнейшие пути следования данных и команд
$К_К$
$К_Н$
$У_Н$
$К_Д$
$ОЗУ_Д$
$ПЗУ_Д$
$У_Д$
к принтеру
шина данных
шина адресов
шина управления
Три провода для сигналов цвета, два — для синхронизации строк и кадров
ТГ
ОЗУ
процессор
АЛУ
СОЗУ
УУ
ПЗУ
Внутренняя система связи (интерфейс) образована тремя многопроводными шинами
Тактовый генератор — дает сырье для „изготовления" кодированных импульсных сигналов и отбивает такт, синхронизируя работу всех узлов ЭВМ
Сверхоперативная память микропроцессора
Хранилище данных, программ и правила, которые ЭВМ должна помнить всегда
Так выглядит блок-схема микрокомпьютера, разумеется, предельно упрощенная, а иногда даже слегка искаженная, для упрощения дела

свободно обращаться к ней, так же как если бы эта информация была введена в компьютер с клавиатуры.

В персональных компьютерах чаще всего используют гибкие магнитные диски небольших размеров — дискеты. А «магнитофон», который их воспроизводит и записывает на дисках новую информацию, называется дисководом или, официально, НГМД — накопителем на гибких магнитных дисках. Запись на диске ведется кольцами, чтобы быстро находить нужные куски и записи (файлы), каждый из них и имеет свой код. Он поступает в контроллер НГМД, и тот с помощью шагового двигателя (вращается он не непрерывно, а мелкими шажками) подводит магнитную головку сразу к нужной дорожке.

На небольшом магнитном диске диаметром 133 *мм* умещается 200—800 килобайт информации. Это немало, но есть твердые диски, на которых записывают десятки мегабайт, несколько томов энциклопедии. Гигабайты информации, то есть сотни и даже тысячи таких книжек, как эта, могут уместиться на видеодиске, где с помощью тончайшего лазерного луча оставлены микроскопические следы, читаемые потом фотодиодами (Т-308).

Из приведенных на Р-166 основных узлов персональной ЭВМ нам остается назвать еще два — устройство ввода информации с клавиатурой и матричное печатающее устройство, принтер. При нажатии на ту или иную клавишу в устройстве ввода электронные схемы — шифраторы — формируют и посылают в ОЗУ код соответствующей буквы, цифры или операции. А в контроллере принтера (официально АЦПУ — алфавитно-цифровое печатающее устройство) стандартные коды букв и цифр преобразуются в другой код, который приводит в действие электромагниты печатающих иголочек, и они, ударив по бумаге, оставляют следы в виде точек. Из этих точек постепенно складываются буквы и цифры (Р-166; 3).

В конце этой краткой экскурсии по реальной ЭВМ нужно признаться, что мы не обратили внимания на нечто чрезвычайно важное — на программы, по которым работает компьютер.

Попробуем исправить эту недоработку.

Т-278

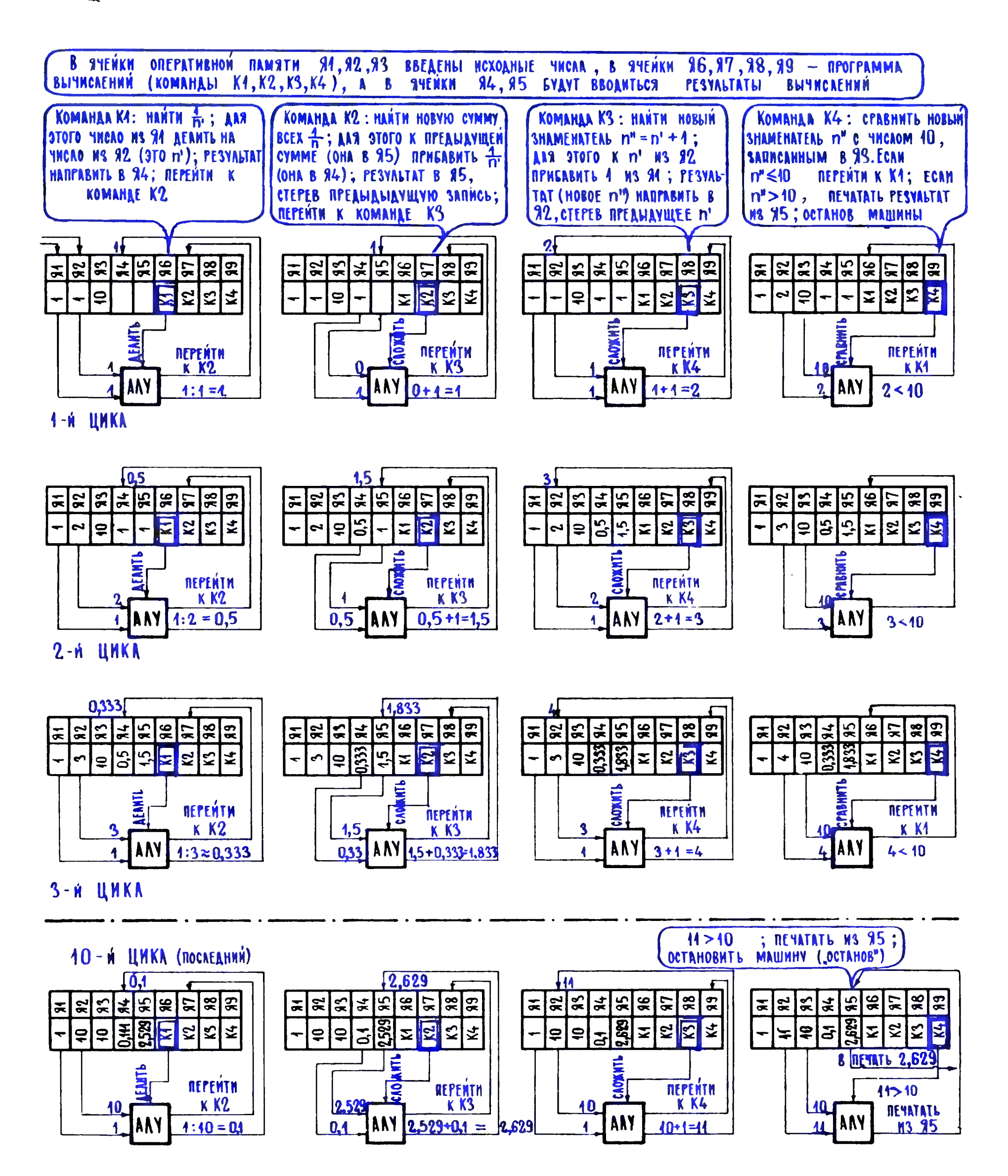
Т-278. Наряду с «железом» — самой схемой и конструкцией ЭВМ — математические и интеллектуальные способности компьютера определяют созданные для него программы. Давайте посмотрим, как может решаться на машине какая-нибудь простая задача, скажем, вычисление суммы десяти чисел типа $\frac{1}{n}$, где $n = 1, 2, 3, 4, \ldots, 10$, то есть суммы ряда $\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \ldots + \frac{1}{10}$.

Ход решения этой задачи на ЭВМ иллюстрирует рисунок 167. На нем для простоты вместо двоичных чисел, которыми оперирует машина, показаны десятичные числа.

В оперативную память машины вводим всего два числа: 1 и 10. Цифру 1 вводим сразу в две ячейки памяти — Я1 и Я2. При этом сразу же имеется в виду, что 1 в ячейке Я1 в дальнейшем будет числителем для любого члена ряда $\left(\frac{1}{n}\right)$, а 1, записанная в Я2, будет первым нашим знаменателем $n = 1$. Мы будем постепенно «наращивать» его, добавляя каждый раз по единице, пока не доберемся до последнего n, равного 10.

Теперь введем в машину команды, им отводятся последние четыре ячейки памяти — Я6, Я7, Я8, Я9. (Конечно же, в нашем примере все чрезвычайно упрощено, много важных подробностей опущено, все решение задачи показано очень схематично.) В ячейку Я1 вводим первую команду К1 — «Число из ячейки Я1 (то есть 1) разделить на число из ячейки Я2 (то есть на n; пока

у нас $n = 1$; получаем первый член ряда: $\frac{1}{1}$); результат направить в Я4; перейти к команде К2». Все эти указания извлекаются из Я6, где записана команда К1, и поступают в АЛУ — арифметико-логическое устройство, которое по указанным адресам извлекает из нужных ячеек числа и производит с ними заданные операции (на нашей схеме и это показано очень упрощенно). Кроме того, АЛУ посылает результат в заданную ячейку и включает следующую команду, предписанную программой. В действительности всю эту работу выполняет процессор и, главным образом, его устройство управления. Но для простоты весь процессор представлен на рисунке Р-167 его вычисляющим блоком АЛУ.



Команда К1, сделав свое дело, передает эстафету команде К2, которая должна прибавить вновь появившийся член ряда (ячейка Я4) к сумме всех предыдущих членов ряда, а она находится в ячейке Я5. У нас пока в этой ячейке пусто, наше $\frac{1}{1}$ пока единственное слагаемое ряда. Поэтому по команде К2 оно в одиночестве попадает в Я5 и будет ждать там следующих членов ряда. Потом к $\frac{1}{1}$ прибавится $\frac{1}{2}$, к их сумме $\frac{1}{1}+\frac{1}{2}=\frac{3}{2}$ прибавится $\frac{1}{3}$, к новой сумме $\frac{3}{2}+\frac{1}{3}=\frac{11}{6}$ прибавится $\frac{1}{4}$ и так далее. Но это будет потом, а пока, выполнив команду К2, программа действует дальше.

После К2 программа начинает формировать следующий член ряда $\frac{1}{n+1}$. Прежде всего команда К3 формирует новый знаменатель, выполняя операцию: «Сложить число из ячейки Я2 (то есть n) с числом из ячейки Я1 (то есть с 1; получится $n+1$, на первый раз это $1+1=2$), результат направить снова в Я2, стерев предыдущее число ($n=1$)». Последняя часть команды — обычная экономия: число $n=1$ уже не нужно, оно уже побывало знаменателем ($\frac{1}{1}$, команда К1), и, чтобы не занимать лишнюю ячейку памяти, 1 убираем из Я2 и помещаем туда 2; это к тому же упростит последующие действия, а именно выполнение последующей команды: она найдет нужное ей новое число по знакомому старому адресу Я2.

Теперь можно было бы начать все сначала, с команды К1: найти член ряда $\frac{1}{2}$ и прибавить его к предыдущей сумме. Однако до этого нужно проверить, не пора ли кончать вычисления. Поэтому после К3 следует команда К4: «Сравнить число из ячейки Я2 (то есть $n=2$) с числом из ячейки Я3 (то есть с числом 10), если $n \leqslant 10$, продолжить вычисления и перейти к команде К1 (в этом случае как раз и начнется новый цикл вычислений); если $n > 10$ (это случится сразу же при $n=11$), прекратить вычисления, результат из ячейки Я5 (там находится последняя сумма всех предыдущих членов ряда, включая $\frac{1}{10}$) направить в устройство вывода информации.

На Р-167 показаны первые три цикла вычислений и самый последний цикл, когда знаменатель дроби, постепенно увеличиваясь, достигает 11. Как видите, порядок действий машины очень прост: выполняя деление, она находит очередной член ряда $\frac{1}{n}$, прибавляет его к сумме всех предыдущих членов ряда, затем находит новый знаменатель $n+1$, затем опять находит новый член $\frac{1}{n+1}$, опять прибавляет его к предыдущей сумме, опять вычисляет новый знаменатель $(n+1)+1$ и т. д. И всякий раз машина проверяет, а не стало ли очередное n больше 10, дальше которого считать не велено.

Найти сумму ряда до $n=10$ несложно, буквально за несколько минут это можно сделать и «вручную». Но вот досчитать сумму ряда до $n=100$ или тем более до $n=1000$ не так-то просто, на это понадобились бы уже не минуты, а часы. А для машины посчитать наш ряд, например до $n=1000$, просто пустяк.

Решая такую простейшую задачу, машина сама по заданной программе проведет довольно большой объем работ, проделав в общей сложности 4000 основных операций (1000 делений, 2000 сложений, 1000 сравнений) и массу

вспомогательных. И на все это даже у очень небольшой современной ЭВМ ушли бы какие-то доли секунды. Вот что такое автоматизация вычислений, путь к которой открыли нам электронные схемы — сумматор и другие схемы процессора, быстродействующие коммутаторы, дешифраторы, устройства памяти.

Уже говорилось, что возможности ЭВМ во многом определяются объемом ее оперативной памяти (Т-277). Другая важнейшая характеристика компьютера — быстродействие. Еще, кажется, совсем недавно рекордом было несколько тысяч операций в секунду, а сегодня даже небольшая настольная ЭВМ выполняет в секунду 200—300 тысяч операций, средняя машина — несколько миллионов, а крупные суперЭВМ — сотни миллионов. Дело подходит к скорости счета миллиард операций в секунду. На машинах с высоким быстродействием можно одновременно решать десятки разных задач — каждый вычислитель или, как обычно говорят, пользователь, работает со своего пульта, своего терминала (дисплей, клавиатура, дисковод). Машина решает задачи по частям, молниеносно переключаясь с одной задачи на другую, так, что никто из пользователей и не замечает, что он не один.

Но главное, для чего нужно высокое быстродействие,— это решение очень сложных задач, быстрая обработка больших массивов информации. Так, например, точность прогнозов погоды на 5—10 дней вперед заметно возрастает, если увеличить объем перерабатываемой информации о температуре, ветрах, давлении, влажности и т. п., которую по нескольку раз в сутки собирают во многих тысячах точек земного шара. Без ЭВМ, вручную, такие задачи вообще нет смысла решать — прогноз на 10 дней вперед придется рассчитывать несколько месяцев. Даже нынешние быстродействующие компьютеры не успевают переработать всю информацию, какую хотели бы метеорологи.

Высокое быстродействие нужно для решения сложных научных и технических задач. Например, для того, чтобы описать поведение плазмы в будущем термоядерном реакторе. Или за разумное время рассчитать, детально проанализировать несколько вариантов большого железнодорожного моста и выбрать лучший из них. Или оперативно и детально моделировать процессы в больших экономических системах.

Принцип построения нашей учебной программы (Р-167) примерно тот же, какой был на заре программирования,— это программа, как ее называют, в машинных кодах. В ней указываются конкретные адреса, говорится, откуда взять число и куда направить, называются конкретные арифметические действия, которые нужно поочередно выполнять.

По мере усложнения решаемых задач такая система программирования оказалась слишком громоздкой, и появилось средство, упрощающее общение с компьютером,— языки программирования. Сейчас таких языков сотни, если не тысячи: ФОРТРАН, АЛГОЛ, БЕЙСИК, ПАСКАЛЬ, КОБОЛ, СИ, ЛИСП, ЛОГО и другие. Все это языки разные и даже совсем разные, но главная идея у них одна — в языке имеются слова, которые вводятся в машину, например, с клавиатуры; эти слова, как любые введенные в машину сочетания букв, превращаются в строго определенный код, определенные сочетания импульсов-пауз; специальная вспомогательная программа превращает слова-коды в определенную последовательность конкретных команд и адресов; эта вспомогательная программа называется транслятором, переводчиком, она переводит указания, которые вы даете компьютеру на языке программирования, в указания на языке машинных кодов. Если бы наша учебная программа была написана на каком-либо языке программирования,

то мы не выписывали бы по десять раз номера ячеек и все последовательности арифметических действий, а изложили бы общую схему вычислений, приписав в конце: «Если $n > 10$, прекратить вычисления и отпечатать результат, если $n \leqslant 10$, вновь перейти к первому действию». В языках программирования пишут, правда, намного короче и в большинстве английскими словами или сокращениями: «GO TO *A*» — «перейти к действию *A*», «IF $n > 10$ THEN *B*» — «если $n > 10$, перейти к действию *B*», «PRINT SQR 100» — «извлечь квадратный корень из 100 и отпечатать результат», «DEL N5—N8» — «удалить из записи весь текст от 5-й строки до 8-й строки» и т. д.

Язык программирования и компьютер — это не есть нечто независимое, существующее каждый сам по себе. Машины ориентируются на определенный язык или максимум на класс языков, для каждого из которых должен быть свой транслятор или интерпретатор — программа перехода с одного языка на другой. В принципе же различают две стратегии, два подхода к взаимодействию машины с программой, а значит, с пользователем. В пакетном режиме машина получает отлаженную программу и сама доводит вычисления до конца. Другой режим — диалоговый, когда, решая задачу по частям, машина не только выполняет ваши указания, но и обращает внима-

К-21

К-21. ЦИФРОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

На стадионах, в аэропортах, на железнодорожных вокзалах часто можно увидеть большие табло, на которых высвечиваются цифры — счет в футбольном матче, номер рейса, время. Такое табло, например, для школьного спортзала или модель для физического кабинета можно изготовить и своими силами.

1. Цифровое табло с непосредственной коммутацией. В основе этой системы высвечивания цифр лежит фигура из семи сегментов, зажигая их в определенном сочетании, можно зажечь любую цифру от 0 до 9. В данном случае это делают многоконтактные выключатели, которые можно изготовить из лезвий (К-5;6,7). Переключается один из проводов, второй (общий) постоянно подключен к лампочкам. Для больших табло, например, составленных из ламп дневного света, нужны выключатели (или реле), рассчитанные на соответствующие токи и напряжения; самодельными выключателями можно коммутировать лишь низковольтные цепи.

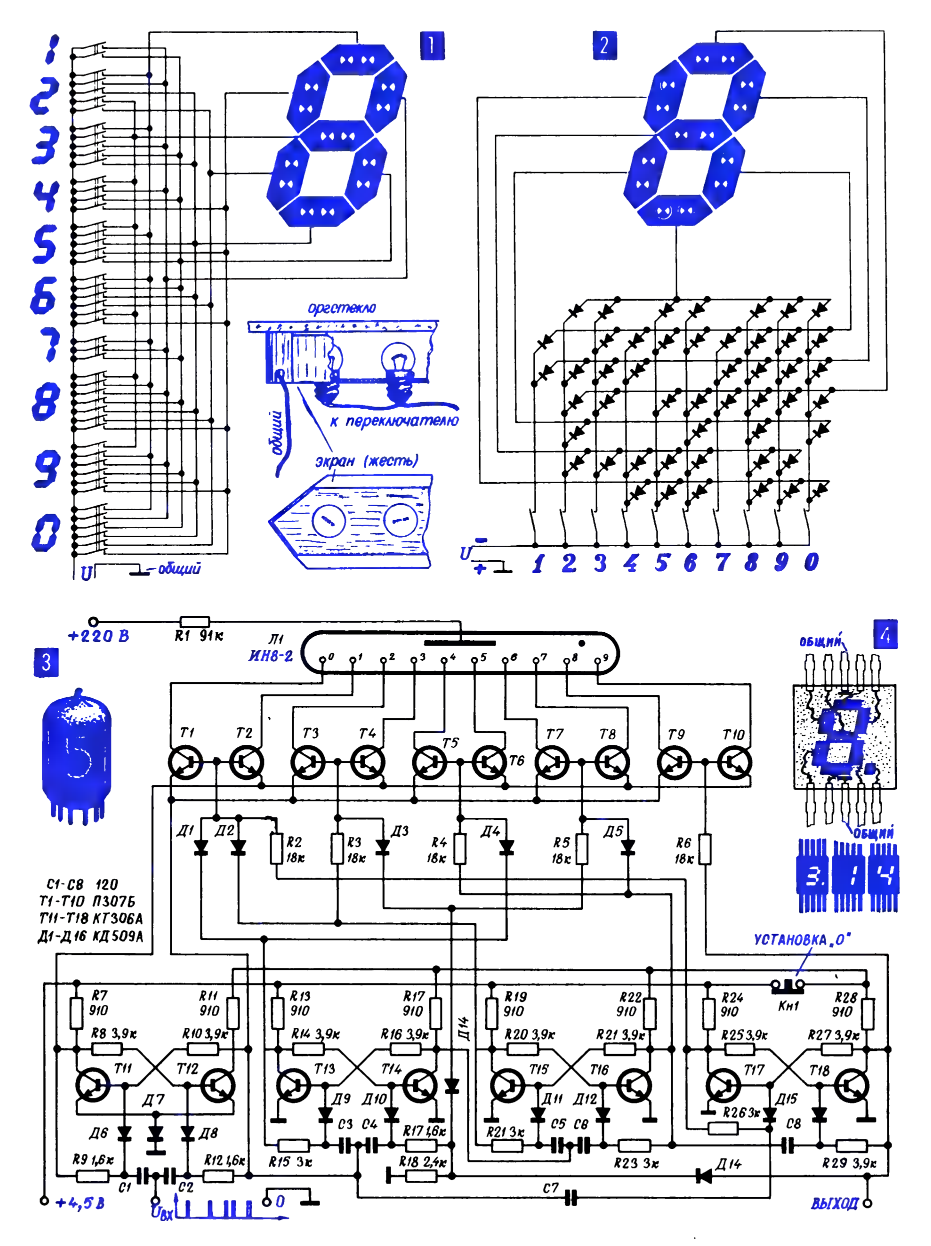
Питать лампочки можно как постоянным, так и переменным напряжением, оно подбирается в зависимости от числа и типа лампочек в сегменте. Нужно иметь в виду, что при высвечивании цифры 8 одновременно включены все сегменты, то есть все лампочки. На этот случай и должен быть рассчитан источник питания.

2. Цифровое табло с диодным коммутатором. Здесь включение той или иной цифры производится одноконтактным выключателем, например тумблером, что, конечно, очень удобно. Включение же нужных сегментов производит диодная матрица из сорока девяти диодов — в зависимости от того, какой из выключателей замкнут, определенная группа диодов подает питающее напряжение на определенную группу лампочек.

Интересно, что схему можно питать не только постоянным, но и переменным напряжением: диоды просто срежут один из полупериодов, что равносильно снижению питающего напряжения в два раза. Набор лампочек в сегментах может быть самым различным, он определится выбранным типом диодов и источником питания. Так, например, используя диоды Д226, можно питать схему сетевым напряжением 220 *В*, включив в каждый сегмент одну лампочку на напряжение 127 *В* и мощность не более 40 *Вт* (в этом случае ток около 0,3 *А*, он не превышает величину, допустимую для диода).

Конструируя цифровые табло с питанием от сети, нужно соблюдать особую осторожность, так как это уже опасное для жизни напряжение.

3. Счетчик импульсов с газосветными цифровыми индикаторами. Схема считает импульсы, поступающие на ее вход, и отображает результат в десятичной системе счисления на цифровом табло. Основа схемы — серийные цифровые индикаторы ИН8-2, в которых есть один общий электрод и десять проволочных электродов в форме цифр — от 0 до 9. Если подать напряжение на один из этих проволочных электродов (относительно общего электрода), то можно зажечь соответствующую цифру. В данной схеме цифровые индикаторы работают совместно с десятичным счетчиком — цепочкой из четырех триггеров, в которой сигнал из четвертого триггера возвращается (через С7) на вход второго. Благодаря



этому цепочка, досчитав до 10, начинает считать сначала. Одновременно со счетом входных импульсов с триггеров подаются отпирающие импульсы на ключи Т1—Т10 (вместе с диодами Д1—Д5 они выполняют логические операции, выбирая нужную цифру при соответствующей комбинации сработавших триггеров), которые поочередно зажигают цифры. После зажигания цифры 9 вновь зажигается 0 и одновременно с выхода схемы подается сигнал на следующий такой же блок, который зажигает цифры следующего десятичного разряда (например, разряда «десятки» или в последующих блоках «сотни» и «тысячи»).

Такие счетчики импульсов могут, например, использоваться для подсчета деталей, прошедших по конвейеру, или для подсчета числа часов и минут в электронных часах.

4. Светящаяся цифра из семи светодиодных сегментов — аналог семисегментной цифры К-21; 1, 2.

ние на ошибки или неудачные действия, задает уточняющие вопросы, предлагает варианты дальнейших действий. Именно в таком режиме работает ПК, персональные компьютеры, применительно к которым и появился термин «дружественное программирование». Общение с ПК может начинаться при самых начальных знаниях языка программирования. Можно использовать ПК как справочник, деловой календарь или большую записную книжку, с его помощью можно редактировать тексты, из табличных данных получать многоцветные графики и при этом, изменив какую-либо величину, мгновенно видеть, как из-за этого изменяются все другие, связанные с ней. Уже миллионы людей на собственном опыте почувствовали, как много рутинной, черновой работы берет на себя ПК и как просто и легко он находит точное наивыгоднейшее решение там, где раньше прикидывали на глазок. Нельзя, конечно, разбрасываться торжественным словом «мыслить», но то, что делают современные ЭВМ, даже небольшие, позволяет называть их думающими машинами. Но, конечно, ЭВМ — это всего лишь машина. Общаясь с ПК на разговорном языке, мы, как уже упоминалось, всего лишь вводим в него слова, закодированные наборами двоичных цифр. При этом компьютер требует абсолютной четкости, он не додумает, не догадается, что вы имели в виду, если что-то сказано нечетко. Вплоть до того, что, если, набирая свой вопрос, вы сделаете лишний пробел между словами, машина вас не поймет и, скорее всего, попросит повторить вопрос.

Программирование в минимальных дозах, особенно для работы с ПК, доступно каждому человеку. И в то же время программирование — это большая наука и большое искусство, от него во многом зависит, что может сделать данный класс ЭВМ. Это можно увидеть даже на нашем простейшем примере для суммирования последовательности $\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}...$ В программе для этой задачи можно было написать, чтобы машина сначала нашла все дроби, все слагаемые ряда, а потом начала их складывать. Но при этом в памяти пришлось бы занять уйму ячеек, в то время как, работая по первой нашей программе, машина занимает всего 9 ячеек памяти. Зачастую от программиста зависит не только экономичность и быстрота решения задачи, но и вообще сама возможность такого решения.

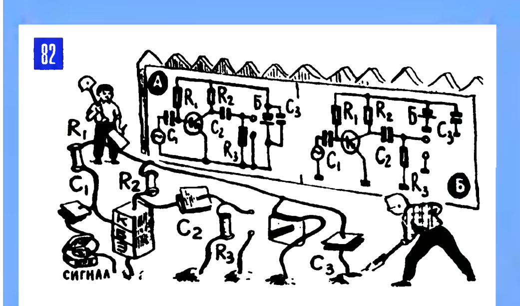
Цифровые электронные вычислительные машины в большинстве своем универсальны; они строят цифровые, математические модели, в которых можно отобразить самые разные процессы — от борьбы с микробами до рождения новых звезд. Решают машины и простые житейские задачи, связанные с классификацией или поиском информации в больших ее массивах. Можно, например, ввести в память машины, записать на магнитную пленку, данные нескольких тысяч деталей, а потом в нужный момент по определенному запросу мгновенно получить от машины нужную классификацию. Скажем, перечень всех деталей из меди, или всех деталей стоимостью более 1 рубля, или всех деталей, которые проходят токарную обработку. При решении такой задачи каждая характеристика детали так же, как и сама деталь, имеет определенный код. Машина, просматривая коды характеристик, сравнивает их с эталоном, например с кодом 10 110 111, что означает, «деталь из меди». В случае совпадения кодов машина считывает код детали, переводит его в название детали и передает на устройство вывода.

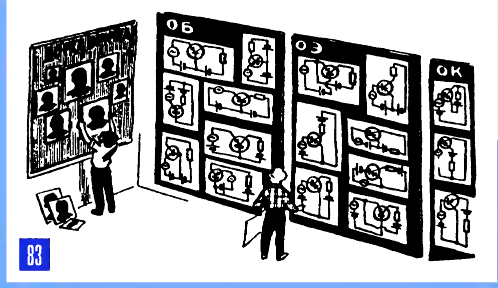
Великолепные программы, написанные для машин с высоким быстродействием и большими объемами памяти, позволяют им неплохо играть в шахматы. Здесь каждая позиция и каждая фигура имеет свою количественную, цифровую оценку, свое число «баллов». И для машины игра — это обычная

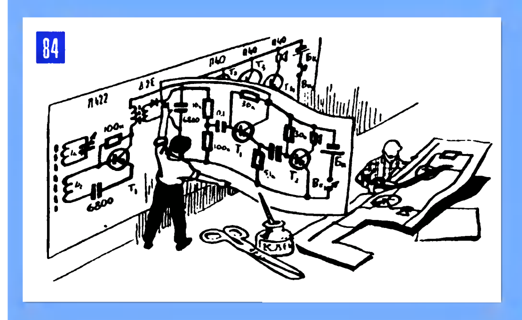
переработка цифровой информации. Просчитывая партию, машина должна выбрать для себя наилучший вариант, тот, который дает ей наибольшее число «баллов». Просмотреть всю партию до конца, все ее варианты, не может ни одна машина. И искусство программиста состоит в том, чтобы научить машину вместо бесстрастного перебора вариантов уже в самом начале оценивать и выбирать только те из них, над которыми стоит серьезно подумать. Нужно сказать, что мощные машины с хорошими программами играют в шахматы очень хорошо.

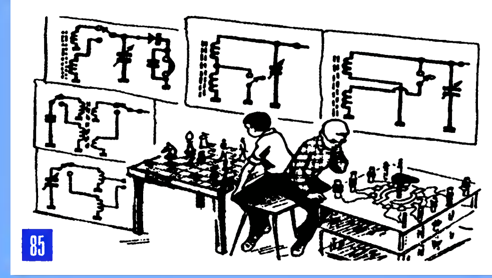
Создание игровых программ тесно связано с такими важными практическими задачами, как машинный перевод с одного языка на другой, медицинская диагностика или поиск полезных ископаемых с помощью ЭВМ. В этой последней области есть, кстати, немало замечательных достижений. Вот лишь один из примеров. Получив от геофизиков данные измерений, проведенных в разведочной скважине (естественная радиоактивность, плотность пород, их электропроводность и другие), и сопоставляя эти данные со своим опытом, машина иногда лучше самих геофизиков предсказывает, может ли быть в данном районе нефть.

И все это только начало. Компьютеры существуют всего несколько десятилетий, их совершенствование так же, как и совершенствование программ, продолжается очень быстрыми темпами. Так что ждите новых приятных сюрпризов от наших теперь уже незаменимых помощников — быстродействующих вычислительных машин, умеющих делать то, что еще недавно считалось монополией Человека Разумного.



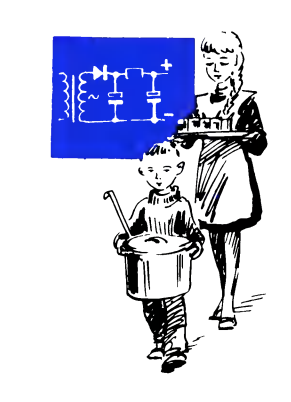






ГЛАВА 19

ПИТАНИЕ НА ЛЮБОЙ ВКУС



Т-279 **Т-279. Для питания электронных схем требуются источники электрической энергии с постоянным напряжением.** Практически ко всем электронным устройствам нужно подводить энергию от внешнего источника. Усилителям эта энергия необходима для создания мощной копии сигнала (Т-126), генераторам — для создания переменных токов (Т-170), телевизионной трубке — для высвечивания экрана, устройствам автоматики — для выполнения логических или вычислительных операций, для управления исполнительными механизмами.

В подавляющем большинстве случаев электронные схемы требуют, чтобы им передали только постоянную электрическую мощность, подвели постоянное напряжение и создали в цепи определенный постоянный ток. Именно постоянное напряжение необходимо для транзисторных и ламповых схем: попробуйте вылепить сложный сигнал из меняющегося коллекторного тока — тут не поймешь, какие изменения тока относятся к самому сигналу, а какие к питающему напряжению. Исключение составляют лишь нити накала некоторых ламп (Т-152) — их задача только нагреть катод, а для этого и переменный ток пригоден. Еще питаются переменным током некоторые типы двигателей и иных исполнительных механизмов, но это уже, как правило, к самим электронным схемам отношения не имеет.

Очень часто источник, поставляющий энергию для электронных устройств, каким-то способом выделяют на самой схеме, в ее описании и даже в размещении элементов, в монтаже. И называют этот источник блоком питания, или источником питания, или для краткости просто питанием. В некоторых случаях питание даже не рисуют на схеме — неважно, каким будет источник, лишь бы давал нужное постоянное напряжение и обеспечивал нужную мощность. На схеме при этом указывают, куда, к каким точкам нужно подвести напряжение и какое именно по величине, куда подать «плюс», а куда «минус». А там сами смотрите — какой хотите источник, такой и применяйте, лишь бы удовлетворить запросы «потребителя».

Т-280 **Т-280. Постоянное питающее напряжение можно получить от химических источников тока.** С химическими источниками электрической энергии — гальваническими элементами и аккумуляторами — все обстоит просто. Они по самой своей природе дают постоянное напряжение, и при использовании их для питания электронных схем нужно решить лишь две задачи — подобрать гальванические элементы (аккумуляторы) так, чтобы они давали нужное напряжение и нужный ток.

Это именно две задачи, а не одна. Один гальванический марганцево-цинковый элемент (Т-27, С-1) дает э.д.с. примерно 1,6 *В*, и, полагая, что в са-

мом элементе потеряется небольшая часть э.д.с., то есть что напряжение элемента в реальной схеме примерно равно 1,5 *В*, остается лишь соединить последовательно некоторое число элементов, чтобы получить нужное напряжение. Если нужно 4,5 *В* — три элемента, если нужно 9 *В* — шесть элементов и так далее (Р-12). Так появляется батарея из последовательных элементов, которая и дает нужное напряжение. Но это еще совсем не значит, что от батареи можно получить нужный ток.

Каждый источник тока, в том числе и гальванический элемент, имеет свое собственное внутреннее сопротивление $R_{внут}$, на котором теряется часть э.д.с. (Т-39). И чем больше потребляемый ток, тем большая часть э.д.с. теряется на этом сопротивлении, тем меньше напряжение на зажимах элемента. Для каждого типа аккумуляторов и гальванических элементов есть некоторый разумный предел, при котором напряжение еще не слишком уменьшается. Кроме того, если превысить этот предельный ток, гальванический элемент будет быстро разрушаться и выйдет из строя раньше своего срока (Р-13).

Кстати, срок службы гальванического элемента, а значит, и батареи, собранной из таких элементов, измеряется не в привычных единицах времени, а в новых для нас единицах — ампер-часах (*А-ч*), которые, если разобраться, сводятся к единице электрического заряда, к кулону — 1 *А-ч* = = 3600 *К*. Для элемента нельзя просто указать срок службы, этот срок зависит от того, как служит элемент, насколько энергично работает. В ампер-часах фактически показывают, какой суммарный заряд гальванический элемент способен направить в цепь за время своей жизни, и называется такая характеристика емкостью. Зная емкость элемента и потребляемый от него ток, легко подсчитать срок службы уже в часах. Так, например, если от элемента «373», емкость которого 3,2 *А-ч*, потреблять ток 32 *мА*, (0,032 *А*), то он проработает 100 часов, если потреблять 320 *мА* (0,32 *А*) — время непрерывной работы будет 10 часов. Ну а если потреблять ток 1 *А*, то запасов элемента хватит всего на 3,2 часа.

Емкость батареи зависит от емкости ее отдельных элементов: при последовательном соединении общая емкость равна емкости одного элемента — количество зарядов, поставляемых в цепь, не увеличивается, возрастает только их энергия, возрастает напряжение. При параллельном соединении гальванических элементов или аккумуляторов тоже получается батарея, но ее напряжение такое же, как и у одного элемента. Зато если элементы соединить параллельно, емкость суммируется. Соединив параллельно три элемента по 1 *А-ч* каждый, получим общую емкость 3 *А-ч*. Упрощенно это можно объяснить так: сначала один из параллельно соединенных элементов отдает в цепь свои запасы зарядов, потом — другой, потом — третий.

По величине емкости можно приблизительно определить допустимый потребляемый (часто говорят «разрядный») ток; для марганцевоцинковых элементов он составляет примерно 3—5% от емкости. Так, например, от того же элемента «373» не стоит потреблять ток более чем 100—150 *мА* (0,1—0,15 *А*). Для плоской батарейки карманного фонаря, стаканчиковые элементы которой имеют емкость около 1 *А-ч*, желательно, чтобы потребляемый ток не превышал 30—50 *мА* (0,03—0,05 *А*). Конечно, можно разряжать батарейку большим током, как делают, например, в карманных фонарях, но при этом и напряжение будет намного меньше, чем э. д. с., и емкость окажется меньше, чем это было бы при разряде небольшим током (Р-13). Плоская батарейка из трех элементов в карманном фонарике, где лампочка потребляет 280 *мА*, дает напряжение 3,3—3,7 *В*, и ее реальная емкость уменьшается на 15—20 процентов.

Т-281 **Т-281. Блок сетевого питания: силовой трансформатор, выпрямитель, фильтр.** Можно получить постоянное напряжение, необходимое для питания электронных схем, и от электросети. Для этого нужно произвести три операции. Во-первых, нужно понизить сетевое напряжение или повысить его в зависимости от того, какое постоянное напряжение нужно получить. Во-вторых, необходимо преобразовать переменное напряжение так, чтобы в его спектре появилась постоянная составляющая, и, в-третьих, нужно с помощью фильтров отвести в сторону все переменные составляющие, оставить постоянную составляющую в чистом виде (Р-168; 1).

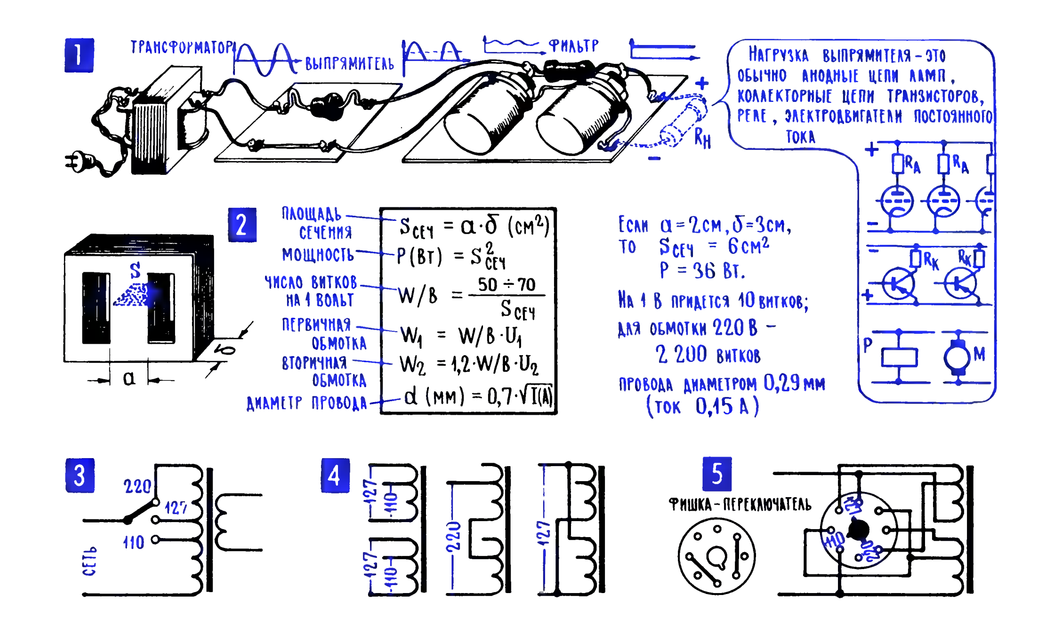
Рассмотрим эти три операции чуть подробнее.

Т-282 **Т-282. Простейший расчет силового трансформатора позволяет найти сечение сердечника, число витков в обмотках и диаметр провода.** Переменное напряжение в сети бывает 220 *В*, реже 127 *В* и совсем редко 110 *В*. Для транзисторных схем нужно постоянное напряжение 10—15 *В*, в некоторых случаях, например для мощных выходных каскадов усилителей НЧ, 25—50 *В*. Для питания анодных и экранных цепей электронных ламп чаще всего используют постоянное напряжение 150—300 *В*, для питания накальных цепей переменное напряжение 6 *В* (точнее, 6,3 *В*, именно столько дают три соединенные последовательно банки кислотных автомобильных аккумуляторов, и лампы, рассчитанные на 6,3 *В*, можно питать от них). Все напряжения, необходимые для какого-либо устройства, получают от одного трансформатора, который называют силовым.

Силовой трансформатор собран на разборном стальном сердечнике из изолированных друг от друга тонких Ш-образных, реже П-образных пластин (Р-60). Его размеры, а точнее, площадь сечения средней части сердечника выбираются с учетом общей мощности, которую трансформатор должен передать из сети всем своим потребителям. Упрощенный расчет устанавливает такую зависимость: сечение сердечника *S* $см^2$, возведенное в квадрат, дает общую мощность трансформатора в *Вт*. Например, трансформатор с сердечником, имеющим стороны 3 *см* и 2 *см* (пластины типа Ш-20, толщина набора 30 *мм*), то есть с площадью сечения сердечника 6 $см^2$, может потреблять от сети и «перерабатывать» мощность 36 *Вт*. Это грубый, упрощенный расчет, но он дает вполне приемлемые результаты (Р-168; 2).

И наоборот, если для питания электрического устройства нужна мощность 36 *Вт*, то, извлекая квадратный корень из 36, узнаем, что сердечник силового трансформатора должен иметь сечение 6 $см^2$. Например, должен быть собран из пластин Ш-20 при толщине набора 30 *мм*, или из пластин Ш-30 при толщине набора 20 *мм*, или из пластин Ш-24 при толщине набора 25 *мм* и так далее. Сечение сердечника нужно согласовать с мощностью для того, чтобы сталь сердечника не попадала в область магнитного насыщения. А отсюда вывод: сечение всегда можно брать с избытком, скажем, вместо 6 $см^2$ взять сердечник сечением 8 $см^2$ или 10 $см^2$. Хуже от этого не будет. А вот взять сердечник с сечением меньше расчетного уже нельзя — сердечник попадет в область насыщения, индуктивность его обмоток уменьшится, упадет их индуктивное сопротивление, увеличатся токи, трансформатор перегреется и выйдет из строя.

В силовом трансформаторе несколько обмоток. Во-первых, две сетевые для включения в сеть с напряжением 220 *В* и 127 *В*. Правда, отдельных обмоток для каждого напряжения не делают. В обмотке для напряжения 220 *В* витков больше, чем в обмотке для 127 *В*, и обмотки переключают таким образом, что при напряжении сети 220 *В* к обмотке 127 *В* просто добавляют некоторое количество витков. Существуют две основные схемы такого пере-



ключения. Одна из них (Р-168; 3) очень проста и пояснений не требует, вторая (Р-168; 4) несколько сложнее. Здесь при напряжении сети 220 *В* последовательно включаются две секции по 110 *В* каждая. При напряжении 127 *В* две секции включаются параллельно (это равносильно увеличению диаметра провода, что, как мы скоро увидим, необходимо). С давних времен такое переключение осуществляют с помощью восьмиштырьковой ламповой панельки и фишки, так как это показано на Р-168; 5.

Кроме сетевых обмоток, в сетевом трансформаторе может быть сколько угодно вторичных, каждая на свое напряжение. В трансформаторе для питания ламповых схем обычно две обмотки — накальная на 6,3 *В* и повышающая для анодного выпрямителя. В трансформаторе для питания транзисторных схем чаще всего одна обмотка, которая питает один выпрямитель. Если на какой-либо транзистор нужно подать пониженное напряжение, то его получают от того же выпрямителя с помощью гасящего резистора или делителя напряжений.

Необходимое соотношение числа витков первичных и вторичных обмоток подсчитать нетрудно: во сколько раз одно напряжение должно быть больше или меньше другого, во столько же раз и число витков должно быть больше или меньше (Т-87). Но отсюда вовсе не следует, что само число витков в обмотках может быть произвольным. Число витков в обмотках определяется по важной характеристике трансформатора, которая называется «число витков на вольт», и зависит от сечения сердечника, его материала, от сорта стали. Для распространенных типов стали можно найти «число витков на вольт», разделив 55—70 на сечение сердечника в *см*². Так, если из нашего примера взять сердечник с сечением 6 *см*², то для него получится «число витков на вольт» примерно 10. Это значит, что обмотки будут иметь такие данные: на 110 *В* — 1100 витков; на 127 *В* — 1270 витков; на 220 *В* — 2200 витков. Если понадобится вторичная обмотка на 25 *В*, то в ней будет 250 витков.

Теперь остается выбрать намоточный провод. Для трансформаторов используют медный провод с тонкой эмалевой изоляцией (С-4), причем

обычно один тип такого провода можно заменять другим. Диаметр провода выбирается из соображений малых потерь энергии в самом трансформаторе и хорошего отвода тепла. Если взять слишком тонкий провод, то он, во-первых, будет обладать большим сопротивлением и отбирать значительную

К-15. СХЕМЫ ПИТАНИЯ

1. Бестрансформаторный выпрямитель для питания переносного приемника. Питание производится прямо от сети, избыток напряжения в основном остается на С1, С2; благодаря стабилатронам напряжение на нагрузке (9 *В*) остается неизменным при разных напряжениях сети. С этим блоком нужно соблюдать осторожность, во всех его точках действует сетевое напряжение, и при включенном выпрямителе к открытому монтажу ни в коем случае нельзя прикасаться, особенно если стоять на сыром полу. Сетевое напряжение может попасть и в приемник, на его антенну, ручки настройки, поэтому такую схему можно применять лишь в самых крайних случаях.

Значительно лучше воспользоваться совершенно безопасным трансформаторным выпрямителем.

2, 3, 4. Выпрямитель с трансформатором. Для него можно воспользоваться любым силовым трансформатором с двумя понижающими обмотками (двухполупериодная схема) или одной (однополупериодная). В последнем случае с накальной обмотки силового трансформатора при переменном напряжении 6,3 *В* (эффективное) и емкости С1 более 100 *мкФ* можно получить выпрямленное напряжение около 8 *В*. Возможно использование транзисторного фильтра вместо R1, С2, (3) и стабилизирующего элемента (4).

5. Преобразователь напряжения. Его основа — двухтактный генератор (мультивибратор с трансформаторной связью); повышенное напряжение с обмотки II подается на выпрямитель Д1—Д4. Само переменное напряжение на обмотке III зависит от числа витков этой обмотки, однако данные всего трансформатора так же, как и тип транзистора, выбираются исходя из необходимой потребляемой мощности (потребляемого тока и выпрямленного напряжения). Вот данные конкретного преобразователя.

Преобразователь напряжения 1,5 *В* в 8 *В* при выпрямленном токе до 30 *мА* (с его помощью можно питать карманный приемник от одного гальванического элемента или одной банки аккумулятора). Трансформатор намотан на сердечнике сечением около 0,7 $см^2$, например от выходного трансформатора «Селги» или «Спидолы»; обмотка I содержит 50 + 50 витков провода ПЭ 0,27, обмотка II — 50 + 50 витков ПЭ 0,1; обмотка III — 300 витков ПЭ 0,2.

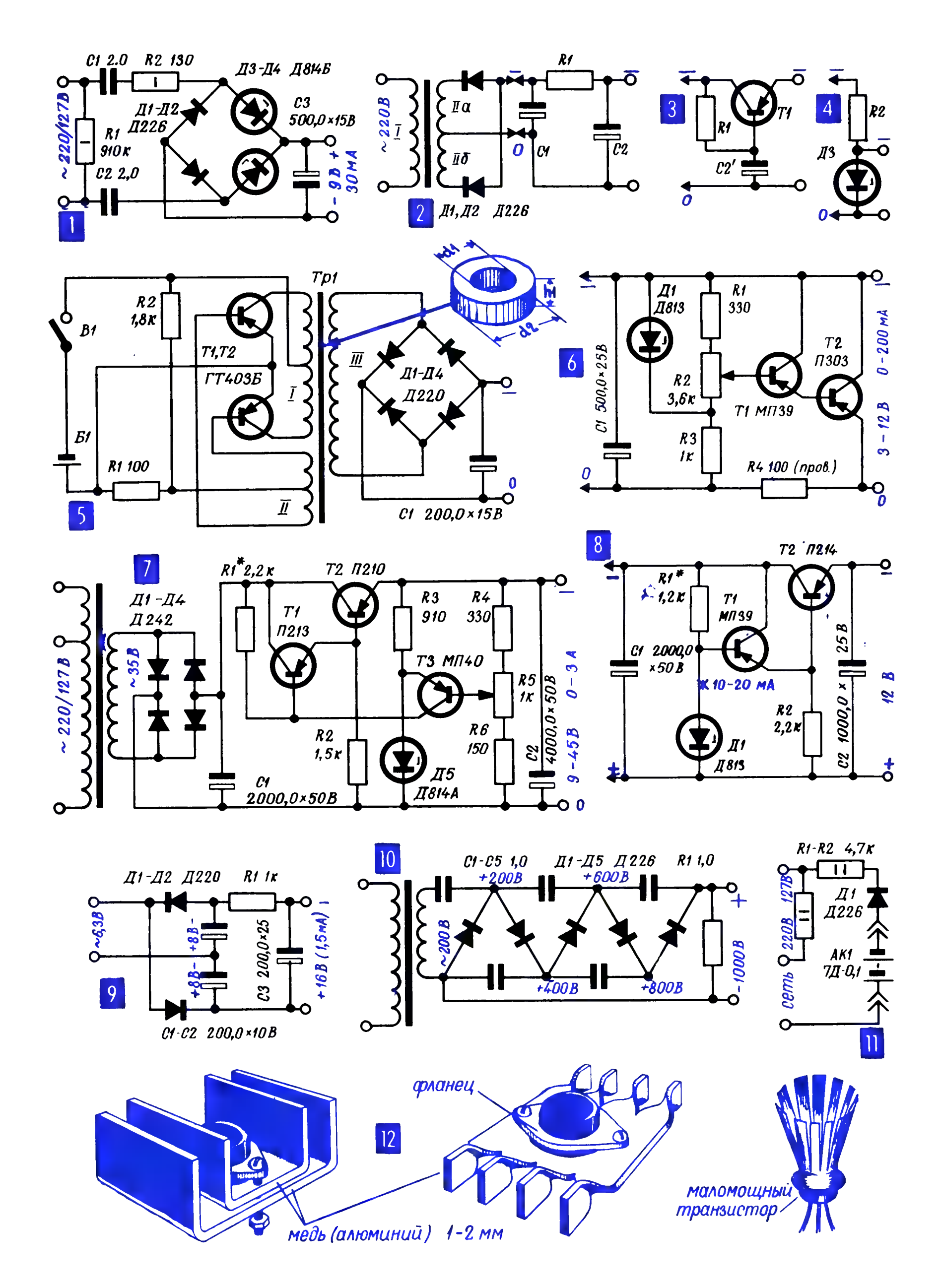
6, 7, 8. Блок питания с регулируемым напряжением. Такой блок питания удобен для разработки и налаживания схем, выходное напряжение в нем стабилизировано, и одновременно его можно плавно изменять. На электронный стабилизатор и регулятор напряжение подается с выпрямителя (на схеме 7 это обычный мостовой выпрямитель, на схеме 6 выпрямитель не показан). Выходное напряжение можно регулировать с помощью транзистора, подключенного параллельно нагрузке или выключенного последовательно, в качестве фильтра (7). Главное достоинство параллельной схемы (6) — она не боится короткого замыкания, которое вполне может произойти при питании экспериментальных схем. Подобные блоки питания можно использовать для питания мощных усилителей низкой частоты. Если не нужно регулировать выпрямленное напряжение, можно воспользоваться более простой схемой 8.

9. Удвоитель напряжения. С его помощью можно от переменного напряжения с накальной обмотки силового трансформатора (6 *В*) получить выпрямленное напряжение 12—16 *В*.

10. Умножитель напряжения. Он может оказаться полезным для питания осциллографической трубки, на анод которой нужно подать высокое напряжение при очень небольшом токе (десятки, сотни микроампер).

11. Выпрямитель для зарядки аккумулятора 7 Д-01. Так же, как и 15; 1, это бестрансформаторная схема, обращаться с ней нужно осторожно.

12. Радиаторы. Мощные полупроводниковые приборы — транзисторы и диоды — могут проявить все свои способности только в том случае, если они работают с внешними радиаторами. Радиатор в несколько раз, даже в несколько десятков раз увеличивает теплоизлучающую поверхность прибора, не дает ему перегреться при больших коллекторных токах и напряжениях, то есть при большой мощности, рассеиваемой на коллекторе. Поэтому-то только с радиатором мощный прибор может работать при максимальном коллекторном токе (напряжении, мощности), на который он рассчитан. И наоборот, используя мощный диод или транзистор без радиатора, можно допустить коллекторную мощность в несколько раз меньшую, чем величина, предельная для данного прибора. В справочных данных мощных транзисторов (С-15) в виде дроби приведены две цифры допустимой мощности — в числителе для прибора с радиатором, в знаменателе — без радиатора.



Радиатор можно изготовить самому из листовой меди или алюминия. Очень важно, чтобы поверхность радиатора в том месте, где к нему прилегает транзистор (диод), была очень ровной; при этом передача тепла от прибора к радиатору происходит легко, при малом «тепловом сопротивлении». Площадь радиаторов обычно указывают при описании конкретных конструкций (это общая площадь охлаждения, общая теплоизлучающая поверхность «с обеих сторон»). Крепится прибор к радиатору с помощью отдельного фланца, который придается к прибору. Если корпус прибора нужно электрически изолировать от радиатора, то между ними прокладывают очень тонкий лепесток слюды. Любители иногда надевают простейшие радиаторы и на маломощные транзисторы или диоды и отбирают от них при этом несколько бо́льшую мощность, чем допускается официально.

часть энергии, которую трансформатор должен передать своим потребителям. Ну а во-вторых, тонкий провод из-за малой поверхности охлаждения будет плохо отдавать тепло в окружающую среду, а это может привести к перегреву трансформатора. За перегревом последует разрушение изолирующего покрытия провода, и в итоге короткое междувитковое замыкание. А это явление чрезвычайно опасное — два соседних проводника, соединившись, создают так называемый короткозамкнутый виток (или группу витков), который, по сути дела, представляет собой самостоятельную обмотку трансформатора, замкнутую накоротко. Сопротивление короткозамкнутого витка очень мало, ток в нем создается огромный, трансформатор раскаляется, как утюг, начинает дымиться и, конечно, быстро выходит из строя.

Диаметр провода выбирают из расчета 2—2,5 ампера на каждый квадратный миллиметр сечения провода. При выборе провода удобно пользоваться таблицей С-4. В одной из колонок этой таблицы указано, сколько витков провода может поместиться в одном квадратном сантиметре окна сердечника при сплошной намотке или намотке рядами с тонкой изолирующей прокладкой между слоями провода. По этим данным можно подсчитать, уместится ли вся обмотка в окне. А если вдруг окажется, что обмотка не умещается, что окно сердечника слишком мало для нее? Диаметр провода уменьшать нельзя, число витков тоже; остается собирать сердечник из пластин с большим окном. Или другой выход: использовать тот же тип пластин, но увеличить толщину набора. При этом увеличится сечение сердечника, а значит, меньше станет «число витков на вольт» и вместе с ним общее число витков.

При изготовлении силового трансформатора нужно проявить все свое терпение и аккуратность. Провод укладывают слоями, между слоями кладут тонкую бумагу, особое внимание обращают на то, чтобы с краев один слой не проваливался на другой. Конечно, в наше время силовые трансформаторы изготавливать самому приходится редко, в продаже бывают трансформаторы самых разных типов. Но даже с учетом этого приведенные простейшие расчетные соотношения и справочные данные могут быть полезны для того, чтобы выбрать трансформатор, проверить, подходит ли он для данного блока питания. Кроме того, иногда приходится переделывать трансформаторы, например, трансформатор от лампового приемника приспосабливать для питания транзисторных схем. В этом случае, убедившись, что трансформатор подходит по мощности, по диаметру провода первичной (сетевой) обмотки, можно эту обмотку оставить нетронутой и только намотать новую вторичную обмотку, предварительно рассчитав ее. Все эти работы, еще раз повторяем, нужно делать очень аккуратно.

Т-283 **Т-283. Выпрямленное напряжение и основная частота пульсаций зависят от того, какая выбрана схема выпрямителя — однополупериодная или двухполупериодная (мостовая).** При всех расчетах трансформаторов возникает вопрос: на какое напряжение должна быть рассчитана вторичная обмотка? Напряжение, которое указано для сети,— это эффективное напряжение, амплитуда в сети 220 *В* достигает 310 *В*, в сети 127 *В* — амплитуда 180 *В* (Т-69).

И при расчете вторичных обмоток тоже исходят из эффективного напряжения на них, понимая, что амплитуда будет на 40% выше. А вот если напряжение со вторичной обмотки подать на выпрямитель, то чему будет равно выпрямленное, постоянное напряжение? Амплитуде переменного? Его эффективному значению? Или, может быть, какой-либо иной величине?

Поставим вопрос иначе: если задано выпрямленное напряжение, то как

его получить, какое для этого нужно иметь переменное напряжение? Оказывается, что это зависит от выбора схемы выпрямителя и от элементов фильтра.

Простейшая схема выпрямления — однополупериодная, уже знакомая нам по детекторным каскадам приемника. Но только там мы выделяли одну из переменных составляющих (низкочастотную), а постоянную отбрасывали, не пускали к усилителю НЧ. А в выпрямителе нам нужна именно постоянная составляющая пульсирующего тока (Р-168; 1), и только ее нужно подвести к нагрузке. Однополупериодный выпрямитель работает через такт, использует энергию только одного полупериода переменного напряжения. При этом частота импульсов такая же, как и частота сетевого напряжения, то есть 50 *Гц,* а постоянная составляющая в спектре пульсирующего тока составляет примерно 32% от амплитуды импульса (Р-169; 1).

Если взять два однополупериодных выпрямителя, включить в них диоды таким образом, чтобы они пропускали ток поочередно, и затем выпрямленный ток от каждого из них направить в общую нагрузку, то получится двухполупериодный выпрямитель (Р-169; 2). Благодаря такому остроумному схемному фокусу ток по нагрузке будет протекать без пауз, частота пульсаций станет в два раза выше и составит уже 100 *Гц*, а постоянная составляющая увеличится до 64% от амплитуды. Все это, конечно, достоинства: в двухполупериодной схеме заданное постоянное напряжение можно получить при меньшем переменном, а пульсации с более высокой частотой легче сгладить конденсатором, фильтрам легче отводить от нагрузки переменную составляющую. Ну, а плата за эти достоинства — усложнение схемы: теперь в ней, по сути дела, два выпрямителя вместо одного.

Существуют две разновидности двухполупериодных схем. Для одной нужно иметь два вентиля, например два полупроводниковых диода, и две отдельные вторичные обмотки в силовом трансформаторе. Обычно их, правда, выполняют в виде одной обмотки с отводом от средней точки и при этом автоматически получается нужная полярность напряжения, подводимого к диодам: когда на конце одной обмотки (или, точнее, одной секции) «плюс» относительно средней точки, на конце другой — «минус» и когда один диод пропускает ток, второй не пропускает. Во время следующего полупериода полярность напряжения на вторичной обмотке меняется: меняются местами «плюс» и «минус», и тот диод, который пропускал ток, оказывается закрытым, а тот, что не пропускал,— открытым (Р-169; 2). Каждая половинка вторичной обмотки трансформатора для такой схемы должна давать расчетное напряжение, необходимое для выпрямителя, а вся обмотка — удвоенное напряжение.

В мостовой схеме (Р-169; 3) двухполупериодное выпрямление получается без двух отдельных переменных напряжений, для мостовой схемы достаточно иметь одну вторичную обмотку. Но за это приходится платить двумя дополнительными диодами — в мостовой схеме их 4, а не 2. Если разобраться в начертании мостовой схемы, то окажется, что в ней просто найден такой способ включения диодов, при котором ток через нагрузку при любой полярности напряжения на вторичной обмотке идет в одну и ту же сторону.

В выпрямителях блока питания используют плоскостные диоды (Т-136; С-14), хотя при небольших токах вполне могут подойти и точечные. Диоды подбирают по величине постоянного тока, который должен давать выпрямитель, и по обратному напряжению (Т-134), которое для страховки всегда считают равным удвоенной амплитуде переменного напряжения на вторичной обмотке. Это, однако, еще не означает, что выпрямленное напряжение

действительно получается равным амплитуде переменного напряжения, хотя такое в принципе возможно.

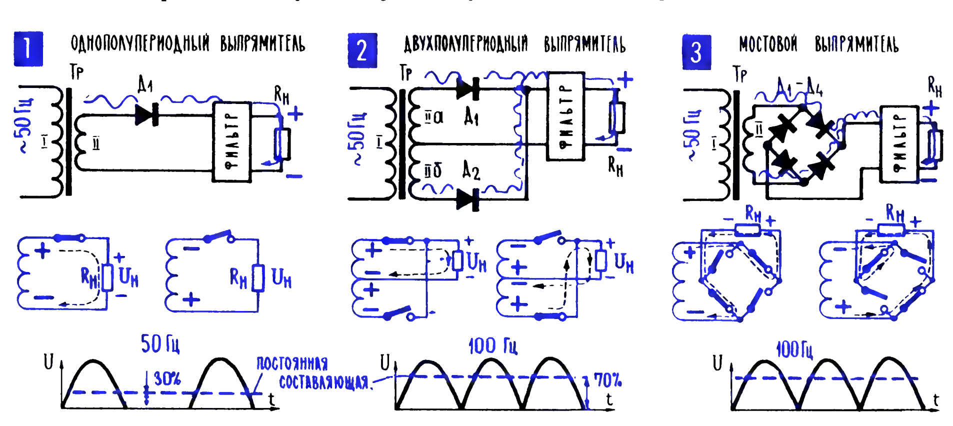
Т-284

Т-284. Фильтр выпрямителя сглаживает пульсации и, кроме того, влияет на величину выпрямленного напряжения. Чтобы отвести от нагрузки переменную составляющую, сгладить пульсации напряжения, которое подводится к нагрузке, после диодов включают фильтр, обычно из конденсаторов и резистора (Р-170; 1, 3), реже из конденсаторов и дросселя (Р-170; 2). Элементы фильтра выбираются исходя из известных соотношений — чем больше емкость конденсаторов $C_{ф1}$ $C_{ф2}$, тем лучше, тем большая часть переменных составляющих замыкает через них и меньшая часть идет в нагрузку. И чем больше сопротивление резистора $R_ф$, тем труднее переменным составляющим пробраться в нагрузку. Есть, правда, такое ограничение: чем больше сопротивление $R_ф$, тем бóльшая часть постоянного напряжения на нем теряется.

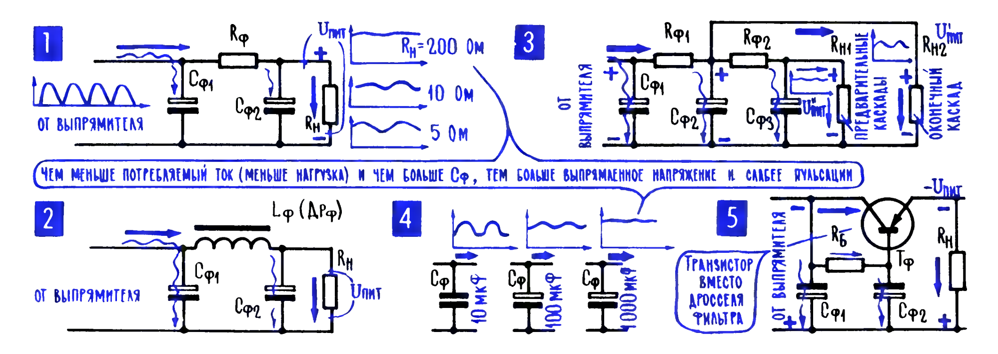
Здесь, наверное, уместно напомнить, что нагрузка выпрямителя $R_н$ — это вся электронная схема, которую он питает, например коллекторные цепи всех транзисторов или анодные цепи всех ламп. То есть нагрузка $R_н$ — это не резистор, а некий условный элемент, само его сопротивление зависит от тока, который потребляется от выпрямителя: чем больше этот ток, тем сопротивление нагрузки меньше, тем, как принято говорить, сильней нагружен выпрямитель. Что касается сопротивления фильтра $R_ф$, то по нему проходит весь выпрямленный ток, и нужно, чтобы этот ток не создавал на $R_ф$ слишком большого напряжения.

В некоторых случаях используют трехзвенный фильтр, показанный на Р-170; 3. Со второго звена снимают выпрямленное напряжение с несколько бóльшими пульсациями, с третьего — напряжение, сглаженное лучше. Удобство такого фильтра связано вот с чем: некоторые цепи не очень-то чувствуют изменения питающего напряжения, для иных же недопустимы даже малейшие пульсации. Поэтому нет смысла весь выпрямленный ток фильтровать с одинаковой тщательностью, часть его можно пропустить только по одному из двух резисторов фильтра, получить при этом более высокое напряжение $U_{пит}$ и одновременно уменьшить мощность, теряемую в фильтре. В качестве примера потребителя, для которого удобна такая система питания, можно назвать мощный усилитель НЧ — коллекторную цепь его выходного каскада может питать напряжение с пульсациями 1—2% (отсчет от уровня постоянного напряжения), а на предварительные каскады нужно подавать напряжение, у которого пульсации не превышают 0,01—0,05%.

Р-169



Р-170



Это легко объясняется: пульсации, попавшие в первые каскады, в дальнейшем усиливаются. Кстати, плохая фильтрация питающего напряжения в усилителях НЧ проявляется в виде фона с частотой 50 или 100 *Гц* в зависимости от схемы выпрямителя.

Кондиционеры фильтра не только сглаживают пульсации, они, особенно первый $C_{ф1}$, влияют еще и на величину выпрямленного напряжения $U_{пит}$, подводимого к нагрузке. Импульсы тока через диод выпрямителя заряжают конденсатор $C_{ф1}$, и потом он постепенно разряжается через нагрузку $R_н$. Чем больше емкость конденсатора, тем медленнее он разряжается и тем больше среднее напряжение на нем (Р-170; 4). В этом процессе, правда, есть еще одно действующее лицо, от которого тоже зависит скорость разряда конденсатора $C_{ф1}$. Это сама нагрузка: чем меньше сопротивление $R_н$, тем быстрей разряжается конденсатор, тем меньше выпрямленное напряжение и выше уровень пульсаций. Отсюда практический вывод: чем меньше сопротивление нагрузки $R_н$, то есть чем больше потребляемый от выпрямителя ток, тем больше должна быть емкость конденсаторов фильтра $C_{ф1}$ и $C_{ф2}$. И еще: выпрямленное напряжение определяется не только подводимым к выпрямителю переменным напряжением, но также потребляемым током и емкостью первого конденсатора фильтра $C_{ф1}$: чем меньше этот ток и чем больше $C_{ф1}$, тем больше выпрямленное напряжение (Р-170; 4). При достаточно большой емкости $C_{ф2}$ выпрямленное напряжение довольно близко к амплитуде переменного.

В приближенных расчетах можно считать, что выпрямленное напряжение получится таким, как эффективное значение напряжения на вторичной обмотке. И если, скажем, нужно питать усилитель напряжением 22 *В*, то нужен силовой трансформатор с коэффициентом трансформации 0,1 (при напряжении сети 220 *В*). Конденсаторы фильтра, однако, во всех случаях нужно рассчитывать на амплитуду напряжения — в какой-то момент выпрямитель может остаться без нагрузки, конденсаторы разряжаться не будут, и напряжение на них поднимется до уровня амплитуды. При этом в такие моменты к нему будет добавляться сама амплитуда переменного напряжения и общее напряжение как раз и станет равным удвоенной амплитуде; на нее должны быть рассчитаны диоды.

Т-285. Транзистор оказывает малое сопротивление постоянному току и большое переменному, он может быть элементом фильтра. Открытый транзистор легко пропускает постоянный ток, его сопротивление для этого тока мало, и падение напряжения на участке коллектор — эмиттер составляет несколько вольт. В то же время коллекторное напряжение слабо влияет на величину коллекторного тока, и поэтому изменения напряжения $U_к$ вызывают незначительные изменения $I_к$. То есть для меняющегося тока транзистор представ-

Т-285

К-14. ЭЛЕКТРОННЫЙ ОРГАН *(см. цветную вклейку, примыкающую к с. 432)*

Этот инструмент назван «органом» лишь по традиции — так принято называть все электромузыкальные инструменты с рояльной клавиатурой. В действительности же инструмент правильнее было бы назвать электронным аккордеоном — в нем имеется рояльная клавиатура (для правой руки) и несколько готовых аккомпанирующих аккордов-трезвучий (для левой руки), которые включаются кнопками так же, как в аккордеоне или баяне. Эта система, может быть, окажется удобной для начинающих музыкантов, особенно для тех, кто прежде всего хочет научиться аккомпанировать пению или танцам.

1, 2. В схему инструмента входят два самостоятельных блока: блок одноголосого инструмента (1; правая рука) на транзисторах Т1—Т7 и блок аккомпанирующих трезвучий (2; левая рука) на транзисторах Т8—Т13. Основа одноголосого инструмента — звуковой генератор ЗГ1 (на схеме он взят в красную рамку). Это мультивибратор, выполненный на транзисторах Т3, Т4 по известной схеме (Р-99; 4, К-2; 5 и др.), частоту которого меняют в довольно широких пределах изменением резисторов R_T. Закорачивание тех или иных резисторов осуществляют контакты $K_т$, связанные с клавишами (правая рука), и всякое уменьшение сопротивления, как обычно, повышает частоту.

В одноголосый блок входит также генератор вибрато (Т1, Т2) и блок формирования тембров, состоящий из двух частей. Одна из них — это просто триггер (Т5, Т6), который делит на два частоту тонального генератора ЗГ1. Сигналы с ЗГ1 и с триггера подаются на вход основного формирования тембров (Т7), причем соотношение между этими сигналами можно менять с помощью резисторов R18, R20. Кстати, очень красивое звучание получается, если подбором этих резисторов сигнал с триггера сделать основным, а сигнал с ЗГ1 — «окрашивающим».

Основной формирователь тембра (Т7) — это усилитель, в котором разными способами можно влиять на спектр сигнала. Здесь имеются два формантных фильтра, которые можно включить поочередно или одновременно (выключением ВК1 и ВК2). Фильтры эти собраны на выходных трансформаторах от приемника «Селга», но вместо них можно использовать любые другие низкочастотные трансформаторы, в которых имеется обмотка на 500—2000 витков; желаемую резонансную частоту фильтра устанавливают на слух, подбирая емкость контурного конденсатора (С11, С12). К вторичной обмотке одного из трансформаторов подключен мостовой выпрямитель (Д3—Д6), который сильно искажает сигнал, делает его спектр более богатым. Резистором R23 можно менять ток в одном плече выпрямителя, нарушать его симметрию, и это также заметно влияет на спектр сигнала, то есть на тембр звучания. Возможности формирования тембров можно, разумеется, расширить, добавляя в схему триггеры, нелинейные элементы, фильтры и т. п. (Р-144).

В схему аккомпанирующих трезвучий входят три независимых звуковых генератора ЗГ2, ЗГ3, ЗГ4, точно таких же, как и ЗГ1. При нажатии на ту или иную кнопку сигналы выдаются со всех трех генераторов одновременно, и именно таким образом формируется аккорд. Все три сигнала через *RC*-цепочки (они предотвращают воздействие генераторов друг на друга) поступают на собирающий каскад (Т14), куда подается также и сигнал с ЗГ1. Частоты аккордов (левая рука) устанавливают подбором резисторов. Проще всего это сделать так: включить вместо трех постоянных резисторов (для каждого аккорда в отдельности) три переменных, настроить генераторы, скажем, по роялю, а затем выпаять из схемы переменные резисторы, замерить их сопротивление и заменить постоянными.

Вопрос о том, какие именно аккорды ввести в инструмент, относится уже не к электронике, а к музыке. И решать этот вопрос лучше всего совместно с грамотным музыкантом. В данной схеме всего 6 аккордов, это минимум для аккомпанемента в тональностях «ре мажор» и «ре минор». Конечно, хорошо было бы иметь несколько десятков аккордов, как в настоящем баяне или аккордеоне. Заметьте — при введении новых аккордов-трезвучий число генераторов не увеличивается, работают все те же ЗГ2, ЗГ3 и ЗГ4. Для введения новых трезвучий нужны лишь новые кнопки с контактами и резисторы. Кстати, новые резисторы нужны не всегда — часто в разных трезвучиях встречаются одна, а то и две одинаковые ноты. Если ограничиться двумя-тремя тональностями, то даже сравнительно небольшое число трезвучий даст богатый аккомпанемент. Так, например, добавив еще два трезвучия параллельного мажора, можно заметно расширить возможности аккомпанемента в «ре миноре».

3, 4, 5. По своей конструкции инструмент может быть настольным или переносным; во втором случае его удобно, по-видимому, носить на ремешке и во время игры держать перед собой, как баян. На рисунках приведены эскизы одной из наиболее простых конструкций. Ее основа — деревянная рамка и фанерное дно, на которых с помощью вспомогательных брусков крепятся все фанерные монтажные платы и основные узлы инструмента, включая усилитель НЧ (по схеме К-7 или К-8) и громкоговоритель. Клавиатура — самодельная, в ней используются контакты из лезвий (К-5;6,7), хотя, конечно, лучше применить более надежные коммутирующие элементы (например, контактные группы старых реле). Эти эскизы дают лишь общее представление о компоновке, и поэтому перед постройкой инструмента нужно подготовить более тщательные его чертежи, ориентируясь на собственный вкус и с учетом имеющихся в наличии деталей.

К-13. УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА *(см. цветную вклейку, примыкающую к с. 433)*

Этот усилитель с выходными транзисторами П213 без радиаторов при питающем напряжении 12 *В* развивает мощность до 2 *Вт* при нелинейных искажениях до 0,5—2% и полосе частот 30 *Гц*—20 *кГц* (неравномерность ±2 *дБ*). Применяя другие выходные транзисторы Т7, Т8 с радиаторами площадью S и подняв питающее напряжение $U_{пит}$, можно увеличить выходную мощность $P_{вых}$ до 10, 20 и даже 40 *Вт*. Причем качественные показатели остаются столь же высоки-ми. Об изменениях в схеме, которые при этом необходимы (подбор резисторов R18, R20, R22—R27, а также R19 и R21), рассказывает таблица:

Транзисторы Т7, Т8	$U_{пит}$ (*В*)	$R_н$ (*Ом*)	$P_{вых}$ (*Вт*)	S (*см*^{2})	R23 (*кОм*)	R24, R25 (*Ом*)	R26, R27 (*Ом*)
ГТ 402, ГТ 404	12	12	1	—	2,4	100—330	1,0
ГТ 403	12	6	2	24	1,2	100—330	0,5
П 213—П 217	12	6	2	—	1,2	68—220	0,5
П 213—П 217	12	3	4	50	0,62	68—220	0,25
ГТ 402, ГТ 404	24	24	2,5	24	4,7	68—220	1,0
ГТ 403	24	12	5	50	2,4	68—220	0,5
П 213—П 217	24	12	5	50	2,4	47—150	0,5
П 213—П 217	24	6	10	100	1,2	47—150	0,25
КТ 801, КТ 807	24	24	2	24	4,7	68—330	1,0
КТ 801, КТ 807	24	12	4	50	2,4	68—330	0,5
КТ 802—КТ 805	24	8	6	72	1,6	68—330	0,5
КТ 802—КТ 805	24	4	12	150	0,82	68—330	0,25
КТ 801, КТ 807	48	48	5	50	10	68—330	1,0
КТ 801, КТ 807	48	24	10	150	4,7	68—330	0,5
КТ 802—КТ 805	48	12	20	200	2,4	68—330	0,5
КТ 802—КТ 805	48	6	40	400	1,2	68—330	0,25

Примечание. При питающем напряжении $U_{пит}$ 12 *В* резистор R17 имеет сопротивление 3,6 *кОм*, R19—6,8 *кОм*, R21—3,3 *кОм*; при $U_{пит}$ = 24 *В* сопротивление этих резисторов должно быть иным (см. схему К-13; 1) при $U_{пит}=48$ *В* сопротивления резисторов: R17—8,2 *кОм*, R19—15 *кОм*, R21—15 *кОм*. Если Т4 германиевый транзистор, R20 должно иметь сопротивление 1 *кОм*, если кремниевый — 2,2 *кОм*.

На рисунке К-13;6 показан вариант схемы с использованием мощных транзисторов с разным типом проводимости. Данные деталей и режимы в этом случае остаются такими же, как указано в таблице.

Следует помнить, что мощность, которую в принципе может дать усилитель, нужно еще у него отобрать, а для этого необходимо определенное сопротивление нагрузки $R_н$ (Р-105).

Усилитель состоит из четырех блоков — блока питания (например, К-15; 2), предварительного усилителя УП, блока регулировки тембров БТ и усилителя мощности УМ. На вход УМ можно подать сигнал около 0,1 *В* и до этого уровня его поднимает УП, с учетом того, что БТ ослабляет сигнал в десять — пятнадцать раз.

Усилитель УП собран на «двойке» транзисторов Т1, Т2: схема его имеет ряд интересных особенностей, может работать в разных режимах, давать разное усиление и иметь разное входное сопротивление. Одна из особенностей схемы — сложные делители, через которые на базу первого транзистора подаются смещение, сигнал и обратная связь. Верхняя часть делителя для подачи смещения составлена из двух резисторов R3, R4, точка соединения которых заземлена через С2 — так «бесплатно» создается дополнительный фильтр, защищающий базовую цепь от

пульсаций питающего напряжения. Сигнал с регулятора громкости R1 подается прямо на базу, напряжение обратной связи (оно снимается с основной части коллекторной нагрузки транзистора Т2, с резистора R9) подается на эмиттер Т1 через делитель R7, R5 (параллельно последнему подключено R4), и от сопротивлений этих резисторов зависит глубина обратной связи. Эта обратная связь повышает входное сопротивление $R_{вх}$ и одновременно снижает усиление «двойки». В зависимости от того, какими должны быть эти характеристики, и устанавливают глубину обратной связи, подбирая резисторы схемы. Проще всего менять R4, всякий раз при этом меняя R3 так, чтобы их сумма R3 + R4 не изменялась: она определяет постоянное смещение на базу Т1.

В таблице приведены возможные значения пяти резисторов, а также трех конденсаторов, соответствующие им $R_{вх}$ и κ для трех разных источников сигнала и двух разных пар транзисторов с разными коэффициентами усиления транзисторов B_1 и B_2 (приводится произведение $B_1 \cdot B_2$).

R4 (*кОм*)	R7 (*кОм*)	R8 (*кОм*)	R9 (*кОм*)	C1 (*мкФ*)	C2, C3 (*мкФ*)	C4 (*мкФ*)	R1 (*МОм*)	κ	$B_1 \cdot B_2$	$R_{вх}$ (*МОм*)
15	1	0,15 (150 *Ом*)	5,6	0,1	1	10	1,5	1	1000	1
									10 000	3
1	10	1,3	4,7	1	10	20	0,47	10	1000	0,1
									10 000	1
0,15 (150 *Ом*)	15	3,3	3,3	10	50	50	0,047 (47 *кОм*)	100	1000	0,01
									10 000	0,1

Примечание. При подключении ко входу усилителя пьезоэлектрического звукоснимателя нужно выбирать вариант схемы с входным сопротивлением 1—3 *МОм*.

В случае необходимости, если, например, не хватает усиления, можно состыковать два УП (две «двойки»). Из таблицы, правда, видно, что с хорошими транзисторами ($B_1 = B_2 = 100$) при работе от пьезозвукоснимателя можно обойтись и одной «двойкой», получив и удовлетворительное входное сопротивление и заметное усиление (вторая строка таблицы). Можно заметно поднять общее усиление, заменив совершенный и сложный регулятор тембра БТ более простым, например RC-цепочкой, подключенной к коллектору Т2 (Р-115;1).

Мощный усилитель УМ собран по стандартной схеме, однако с некоторыми интересными особенностями, в частности в первых двух каскадах (Т3, Т4), которые имеют много общего с УП. Весь блок УМ охвачен глубокой обратной связью как по переменному, так и по постоянному току. Важнейшее требование к режиму каскада — симметрия «половинок» двухтактного каскада, одна из которых образована составным транзистором Т5, Т7, а вторая — составным транзистором Т6, Т8. Как минимум, нужно точно установить режим блока УМ по постоянному току, добиваясь того, чтобы между точками *а* и *б*, то есть на каждой его «половинке», была половина питающего напряжения. Все транзисторы блока связаны по постоянному току, их режим зависит от режима первого транзистора Т3, и налаживание УМ в основном сводится к подбору резисторов делителя R17, R18, R19; обычно проще всего подбирать R17, он влияет только на режим по постоянному току. В случае применения в качестве Т7, Т8 транзисторов *n-p-n* (например, КТ 803) все остальные транзисторы схемы нужно сменить: в качестве Т1, Т3, Т5 нужно включить транзисторы *n-p-n*, а в качестве Т2, Т4, Т6 — транзисторы *p-n-p*, одновременно, конечно, нужно сменить полярность питающего напряжения и полярность включения электролитических конденсаторов. Если Т2 будет кремниевым транзистором, то R6 нужно будет увеличить до 3,3 *кОм*. Усилитель может быть собран на гетинаксовой или даже на фанерной панели и, конечно, на печатной плате (5). Из двух усилителей можно собрать стереоустановку, включив резистор баланса каналов, а в регуляторах громкости и тембров используя сдвоенные резисторы (4).

Одно из достоинств схемы — она предъявляет не очень высокие требования к фильтру выпрямителя. Фильтр может быть собран по схеме К-15;2, причем два элемента фильтра находятся уже в самом усилителе — это R14, C12.

Вот некоторые данные силового трансформатора: (минимальное сечение сердечника S, эффективное напряжение на вторичной обмотке U_{II}, диаметр провода вторичной обмотки d_{II}, сетевой обмотки $D_{127/220}$ для разных вариантов усилителя (выходная мощность $P_{вых}$ и питающее напряжение $U_{пит}$). Число витков в обмотках определится после того, как будет выбран сердечник (Р-168; 2) и определено соответствующее его сечению число витков на вольт.

$P_{вых}$ (*Вт*)	5	12	20	40
$U_{пит}$ (*В*)	12	24	48	48
$U_{IIэф}$ (*В*)	9	18	36	36
d_{II} (*мм*)	0,64	0,64	0,64	1
$d_{127/220}$ (*мм*)	0,14/0,1	0,21/0,14	0,29/0,21	0,41/0,3

Данные вторичной обмотки силового трансформатора (U_{II}, d_{II}) приведены для случая мостового выпрямителя; при двухполупериодной схеме нужна вторичная обмотка с отводом от средней точки и двумя напряжениями ($U_{II} + U_{II}$), диаметр провода d_{II} может быть в полтора раза меньше.

ляет большое сопротивление. Сочетание этих свойств (малое сопротивление для постоянного тока и большое для переменного) делает открытый транзистор идеальным элементом фильтра выпрямителя (Р-170; 5) — он не пропускает к нагрузке переменную составляющую выпрямленного тока и в то же время не оказывает препятствий постоянной составляющей, не снижает выпрямленного напряжения.

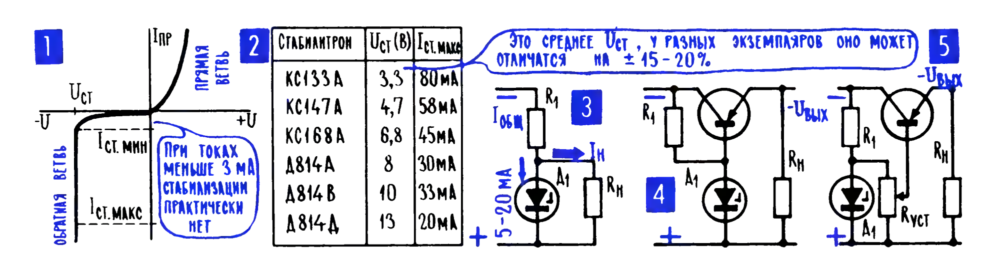
Т-286

Т-286. Кремниевый стабилитрон, особенно в сочетании с транзисторами, позволяет создавать стабилизаторы напряжения. Включение транзистора в качестве элемента фильтра позволяет воспользоваться эффективными системами стабилизации напряжения. Стабилизатор напряжения, как об этом говорит само название, поддерживает неизменным выпрямленное напряжение, если по каким-то причинам изменится напряжение на его входе (это может произойти из-за изменений напряжения в сети или если изменится режим самой нагрузки, например увеличится или уменьшится потребляемый ток).

Основа большинства стабилизирующих схем — особый кремниевый диод, стабилитрон (Р-171; 1), который сам по себе предназначен для стабилизации напряжения. Особенность его состоит в том, что в определенном режиме сопротивление этого диода сильно меняется при изменении пропускаемого им тока (такая характеристика у стабилитрона получается за счет определенных свойств самого полупроводникового материала), и в итоге напряжение на диоде остается неизменным. Если собрать делитель с кремниевым стабилитроном (Р-171; 2) и менять подводимое к этому делителю напряжение, то сопротивление диода будет меняться и напряжение, снимаемое с диода, окажется стабилизированным.

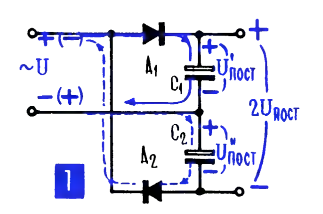
Используя стабилитрон в качестве источника опорного постоянного напряжения, можно создать электронную схему, которая будет управлять работой транзисторного фильтра и менять его режим таким образом, чтобы напряжение на выходе во всех случаях оставалось неизменным. Это насто-

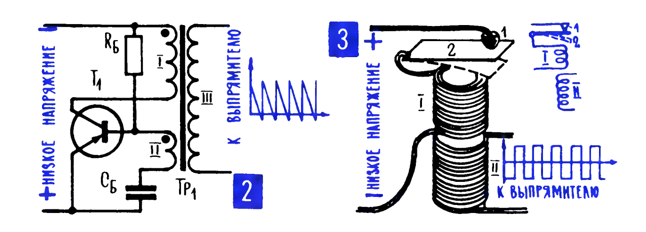
Р-171



СТАБИЛИТРОН	Uст (В)	Iст. макс
КС133А	3,3	80мА
КС147А	4,7	58мА
КС168А	6,8	45мА
Д814А	8	30мА
Д814В	10	33мА
Д814Д	13	20мА

Р-172





ящий электронный автомат, со следящей системой (Т-265), — он следит за изменением подводимого напряжения. И с памятью в виде стабилитрона: на нем записано опорное напряжение, по которому нужно равняться (Р-171; 4).

Некоторые варианты стабилизированного выпрямителя, например схема, показанная на Р-171; 5, позволяют в широких пределах регулировать выпрямленное напряжение $U_{пит}$. Изменяя с помощью $R_{уст}$ «минус» на базе, мы меняем опорное напряжение и в итоге выпрямленное напряжение $U_{вых}$, которое достается нагрузке. Одна из практических схем такого выпрямителя с регулируемым напряжением приводится на К-15.

Т-287. Цепочки конденсаторов и диодов позволяют увеличивать выпрямленное напряжение. Понизить выпрямленное напряжение всегда просто: для этого достаточно увеличить сопротивление фильтра, ввести дополнительный гасящий резистор или делитель напряжения. А вот для того, чтобы получить выпрямленное напряжение побольше, нужно переделать или заменить силовой трансформатор, увеличить напряжение на его вторичной обмотке, которое подводится к выпрямителю. Есть, правда, и другой путь — умножение напряжения, но пользуются им сравнительно редко.

Самый простой из умножителей — это удвоитель напряжения (Р-172; 1), он увеличивает напряжение вдвое. Происходит это за счет того, что в течение одного полупериода выпрямитель через $Д_1$ заряжает до амплитуды переменного напряжения конденсатор C_1, а в течение второго полупериода заряжает через $Д_2$ конденсатор C_2. Оба конденсатора включены последовательно по отношению к нагрузке, и поэтому напряжение на нагрузке (это, конечно, уже выпрямленное напряжение) равно сумме напряжений на C_1 и C_2. То есть равно удвоенному переменному напряжению, которое подводилось к выпрямителю. Из нескольких цепочек конденсатор — диод можно собрать утроитель напряжения, учетверитель и так далее. Схемы умножения, как уже говорилось, применяются редко; как правило, проще изменить данные вторичной обмотки силового трансформатора, увеличить напряжение на ней и использовать привычную схему выпрямителя без умножения.

Т-288. Чтобы увеличить постоянное напряжение, можно превратить его в переменное, повысить с помощью трансформатора и выпрямить. Если источник питания дает переменное напряжение, как, например, электросеть, то изменить это напряжение, повысить его или понизить, можно с помощью трансформатора. Но если питание осуществляется от источника постоянного напряжения, например от аккумулятора или гальванического элемента, то напряжение можно только уменьшить, так как постоянное напряжение не трансформируется (вспомните: переменное напряжение во вторичной обмотке трансформатора наводится только при изменении тока в первичной — Т-56, Т-60), и поэтому повысить его никак нельзя. А бывает, что повысить постоянное напряжение нужно обязательно. Например, при питании лампового приемника или передатчика от автомобильного аккумулятора он дает напряжение 12 *В*, а на аноды ламп нужно подать 150—200 *В*.

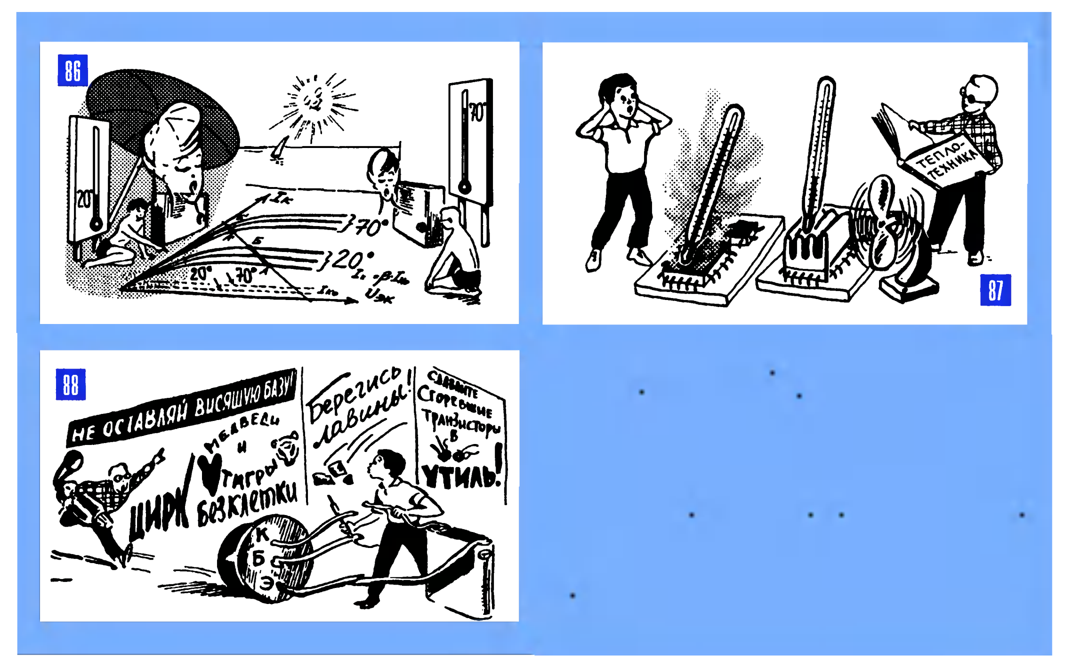
Когда-то эту задачу решали с помощью машинных преобразователей —

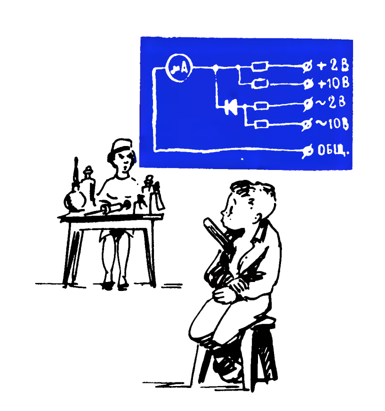
умформеров, где в одной машине объединены электродвигатель с электрогенератором. Двигатель приводится в движение низким напряжением, он вращает ротор генератора, который уже дает высокое напряжение.

А вот другой путь: можно постоянное напряжение превратить в переменное, например, периодически разрывая цепь, а затем уже это переменное напряжение повысить с помощью трансформатора. В дотранзисторную эпоху такая операция осуществлялась с помощью вибропреобразователей (Р-172; 3). Как только в обмотке I появляется ток, якорь притягивается, контакты 1, 2 разрываются, и ток прекращается. Тогда якорь возвращается на место, контакты 1, 2 замыкаются, и весь процесс начинается сначала.

С появлением транзисторов открылась возможность строить более надежные преобразователи, без непрерывно движущихся и часто подгорающих контактов. Транзисторный преобразователь напряжения — это, по сути дела, генератор, например, двухтактный мультивибратор (К-15; 5) или блокинг-генератор (Р-172; 2). Повышенное напряжение снимают с отдельной обмотки трансформатора и затем подают на обычный выпрямитель. Частоту переменного напряжения делают сравнительно высокой (килогерцы и десятки килогерц), при этом уменьшаются габариты трансформатора. Соображения по выбору сердечника, приведенные в Т-282, относятся к частоте переменного тока 50 Гц; с увеличением частоты сердечник может иметь меньшее сечение и число витков на вольт тоже будет меньше.

Выпрямители, если они собраны правильно, сразу же работают нормально, а вот более сложные схемы после включения нередко приходится налаживать. Этой интересной сложной работе — налаживанию электронных схем посвящена следующая глава.





ГЛАВА 20

ИЗМЕРЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ

Т-289 **Т-289. При налаживании электронных схем и особенно при разработке новых приходится добывать информацию о том, что происходит в электрических цепях.** Многие электронные схемы, если они правильно собраны, сразу же начинают нормально работать, но есть такие, которые после сборки обязательно нужно проверять и налаживать. За примерами ходить недалеко — серийные телевизоры, приемники, магнитофоны, тщательно отработанные и повторенные тысячами экземпляров, после сборки обязательно поступают на заключительный участок конвейера, где каждый аппарат тщательно налаживается и настраивается.

И радиолюбителю приходится налаживать многие схемы, даже если они сразу же заработали. Скажем, в телевизоре или приемнике подстраивать контуры, в которых, кстати, и предусмотрена возможность подстройки: в контурах имеются подвижные сердечники для подгонки индуктивности или подстроечные конденсаторы. Бывает, что нужно подбирать наилучший режим транзисторов, добиваясь от них наибольшего усиления или наименьших искажений. Или подобрать элементы, формирующие тембр электромузыкального инструмента. Иногда приходится проверять и налаживать схемы, которые, казалось бы, не требуют никакой наладки, такие, например, как мультивибраторы. Они, как правило, сразу же начинают «петь» или «мигать», но иногда почему-то, как говорится, «не дышат», не работают или работают, но не так, как должны.

Бывает, что схема не работает потому, что в нее впаяна не та деталь, например резистор с иным, чем указано на схеме, сопротивлением. А бывает, что впаянная деталь просто неисправна — оборван вывод внутри конденсатора или, наоборот, конденсатор пробит, накоротко замкнуты его пластины. Могут оказаться негодными транзистор или диод, может даже подвести соединительный провод, сломавшись внутри изолирующего покрытия. И конечно же, схема может оказаться неработоспособной просто из-за ошибки или небрежности, чаще всего из-за того, что какой-то проводник не туда припаян или припаян ненадежно. Или из-за того, что какая-нибудь деталь вообще забыта и ее просто нет на месте.

Занимаясь устранением неисправностей в велосипеде, в часах или в иной механической машине, как правило, сразу видишь, что происходит, какая деталь попадает не туда, куда нужно, или движется не так, как следует. И сразу же можешь догадаться, что́ и как подправить. А вот в электрических и электронных схемах все намного сложнее. Потому что в этих схемах идут невидимые и неслышимые процессы, о некоторых из них можно получить представление по косвенным приметам (появление дыма не в счет), о других же

вообще можно узнать, только пользуясь специальными измерительными приборами. Так, например, по искаженному звуку в громкоговорителе можно предположить, что какой-то из усилительных каскадов попал в неудачный режим, возможно, работает с отсечкой. Можно, конечно, найти виновника «методом проб и ошибок» — менять какой-либо элемент в схеме и следить за тем, что́ это дает. Но чтобы быстро и точно узнать, какой именно каскад искажает сигнал и по какой причине, для этого нужно измерить токи и напряжения в электрических цепях усилителя.

Особенно важны измерения в невидимом мире электронных схем при их налаживании, при «выжимании» из схемы наилучших параметров и тем более при отработке новой схемы. Здесь уже приходится измерять уровень сигнала, контролировать его форму, проверять частотные характеристики фильтров (в частности, настраивать резонансные контуры на заданную частоту), контролировать потребляемые токи, проверять уровень помех, таких, например, как фон переменного тока или собственные шумы. Для выполнения всех этих измерений создано множество самых разнообразных приборов, с некоторыми из них нам нужно познакомиться.

Т-290. В универсальный измерительный прибор авометр входят амперметр, вольтметр и омметр. Существуют разные типы стрелочных приборов, позволяющих измерять ток, но мы ограничимся знакомством только с одним из них — магнитоэлектрическим. Потому что главным образом этот тип измерителя тока используется в радиоэлектронике, и на его основе созданы самые разные измерительные приборы, в том числе и авометры, где один общий стрелочный измеритель тока используется еще и для измерения напряжений и сопротивлений (слово «авометр» образовано из трех слов — «амперметр», «вольтметр», «омметр»). Т-290

Основа магнитоэлектрического измерителя тока — подковообразный или чаще круглый магнит, между полюсами которого расположена квадратная катушка, как ее называют, рамка (Р-173; 1). Рамка закреплена так, что может легко поворачиваться, но при этом ей приходится преодолевать сопротивление пружин. Если пропустить по рамке ток, то ее собственное магнитное поле, взаимодействуя с полем постоянного магнита, будет стараться повернуть рамку. А пружины будут сопротивляться такому поворачиванию. И в итоге угол, на который повернется рамка, определится интенсивностью ее магнитного поля, а значит, величиной тока: чем больше ток, тем сильнее магнитное поле рамки и тем на больший угол она поворачивается, преодолевая сопротивление пружин.

Основная характеристика амперметра, в том числе и магнитоэлектрического, это его чувствительность — величина тока, который отклоняет стрелку до конца шкалы. Ясно, что чем меньший ток нужен для полного отклонения стрелки, тем выше чувствительность амперметра. Например, прибор с чувствительностью 1 *мА* лучше (чувствительнее), чем прибор с чувствительностью 3 *мА* или, тем более, 5 *мА*. Наиболее распространенные приборы имеют чувствительность несколько миллиампер (это довольно низкая, плохая чувствительность), или несколько сот микроампер, или даже несколько десятков микроампер (это неплохая, высокая чувствительность). Измерители тока с учетом их чувствительности принято называть миллиамперметрами или микроамперметрами. Иногда чувствительные измерители тока называют гальванометрами — слово это, так же как и название «гальванический элемент», идет от имени итальянского врача Луиджи Гальвани; он был одним из первых исследователей электричества. Чувствительность неизвестного гальванометра легко измерить эталонным прибором (Р-173; 2).

Чувствительность амперметра (миллиамперметра, микроамперметра) всегда можно уменьшить, подключив к прибору шунт, в этом случае через прибор пойдет лишь часть общего тока, или, иными словами, можно будет измерить большой ток в цепи, пропустив через сам измерительный прибор сравнительно небольшой ток (Р-173; 3). Используя несколько шунтов, можно создать многопредельный амперметр, то есть такой прибор, у которого в зависимости от подключенного шунта будут разные предельные измеряемые токи (Р-173; 4).

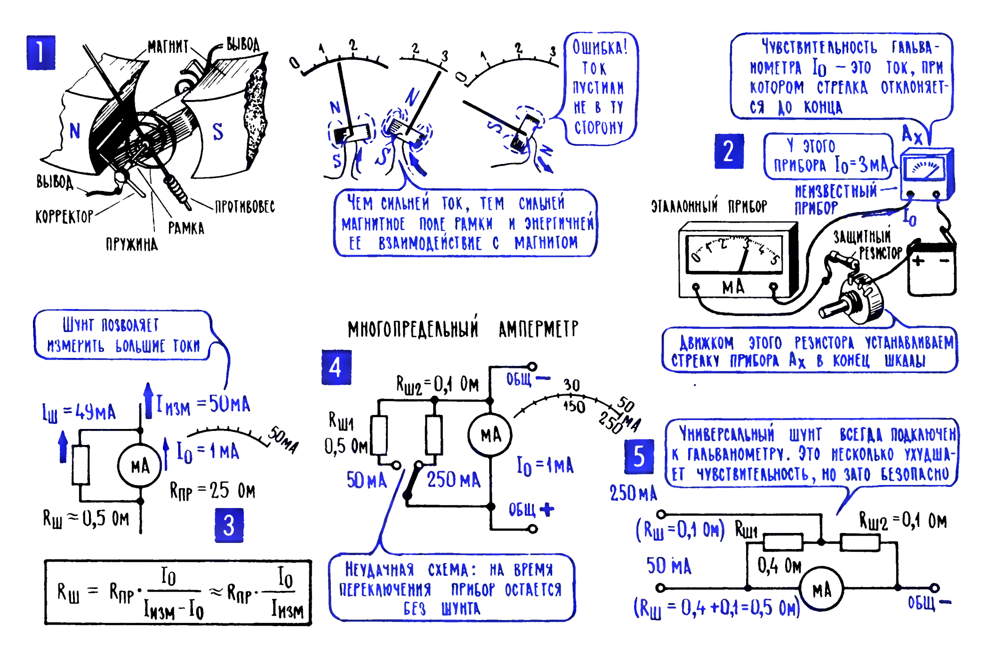
Здесь необходимо сделать два важных примечания, одно общее, оно касается всех измерительных приборов вообще, и одно частное, оно относится только к амперметрам. Начнем с общего.

На первый взгляд может показаться, что в многопредельных приборах нет никакой необходимости. Действительно, зачем нужны шунты и переключатель на предельные токи 5 *А*, 50 *А* и 500 *А*, когда прибор с одним шунтом, измеряющий 500 *А*, может измерить любой меньший ток. Но попробуйте представить себе, как отклонится стрелка при измерении тока в 1 *А* прибором с пределом измерений 500 *А*: если вся шкала разбита на 100 делений, то цена одного деления 5 *А* и при токе 1 *А* отклонение составит всего 0,2 деления. Заметить такое отклонение практически невозможно. Но даже при измерении значительно больших токов, скажем 10 *А* или 15 *А*, стрелка отклонится всего на 2—3 деления и точность отсчета окажется не очень высокой. Точно так же на магазинных весах с пределом 1 килограмм не отвесишь не то что миллиграммы, но даже несколько граммов. В то же время при измерении тока 1 *А* прибором с пределом измерения 5 *А* и со шкалой, разбитой опять-таки на 100 делений (цена деления теперь уже 0,005 *А*, а не 5 *А*), стрелка отклонится на 20 делений. Словом, если хочешь одним амперметром измерять и большие и малые токи, нужно, чтобы это был многопредельный прибор с переключателем шунтов. И вольтметр должен быть многопредельным, если им нужно измерять и доли вольта, и сотни вольт.

Теперь частное примечание: схема многопредельного амперметра (Р-173; 4) не просто неверна, она недопустима, в ней скрыта смертельная опасность для самого стрелочного прибора. По поводу этой опасности существует даже энергичная предостерегающая поговорка — «Не оставляй прибор без шунта!», из которой следует спокойная рекомендация: «Подключай прибор к шунту, а не шунт к прибору». Понять сущность рекомендации нетрудно: если на какой-то момент прибор останется в цепи без шунта, то по прибору пойдет весь измеряемый ток (представьте себе — по прибору, рассчитанному на 1 *А*, идет ток 500 *А*), прибор выйдет из строя, скорее всего, «сгорит» рамка. Вот почему даже на короткое время переключения шунтов прибор нельзя оставлять включенным в цепь, прибор должен появляться в цепи только после того, как там уже есть шунт. Это правило проще всего реализуется в схеме Р-173; 5, которая называется универсальным шунтом — этот шунт всегда подключен к прибору и при некоторых переключениях часть шунта добавляется к $R_{пр}$, в чем, кстати, нет особой беды.

Тот, кто помнит закон Ома, легко поймет, что амперметр может измерять и напряжение, если подключить его параллельно участку цепи: ток через амперметр пропорционален напряжению (Т-37), и это напряжение легко подсчитать, зная сопротивление рамки амперметра. А можно и не подсчитывать, можно шкалу амперметра сразу разметить в вольтах, превратив его тем самым в вольтметр.

Есть, правда, одно препятствие в использовании одного и того же стрелочного прибора и для измерения тока, и для измерения напряжения. Дело



в том, что сопротивление амперметра должно быть малым, а сопротивление вольтметра — большим (Р-24; 2, 4). Только в этом случае приборы сами не будут менять режим той цепи, в которую их включают (точнее, будут менять его незначительно). К счастью, есть выход из этого безвыходного, казалось бы, положения. В комбинированном амперметре-вольтметре используют очень чувствительный гальванометр, у которого стрелка отклоняется при токе менее одного миллиампера. Причем сопротивление рамки такое, что этот ток появляется при напряжении менее вольта. Диапазон измеряемых токов у такого прибора расширяют с помощью шунтов, а диапазон измеряемых напряжений — с помощью добавочных гасящих сопротивлений (Р-174; 1). Шунты уменьшают общее сопротивление амперметра.

Теперь о добавочных резисторах. Они прежде всего увеличивают предельное измеряемое напряжение. Если стрелка гальванометра отклоняется при напряжении 1 *В*, а резистор подобран так, что на нем теряется еще 99 *В*, то прибором можно измерять напряжение 100 *В*. При этом гальванометру достанется 1 *В*, стрелка отклонится до конца, и это как раз будет означать, что к прибору (включая гасящее сопротивление) подводится 100 *В*. И именно эту цифру можно будет поставить возле последнего деления шкалы. Кроме своей основной работы, гасящие резисторы увеличивают общее входное сопротивление вольтметра, что как раз и требовалось сделать.

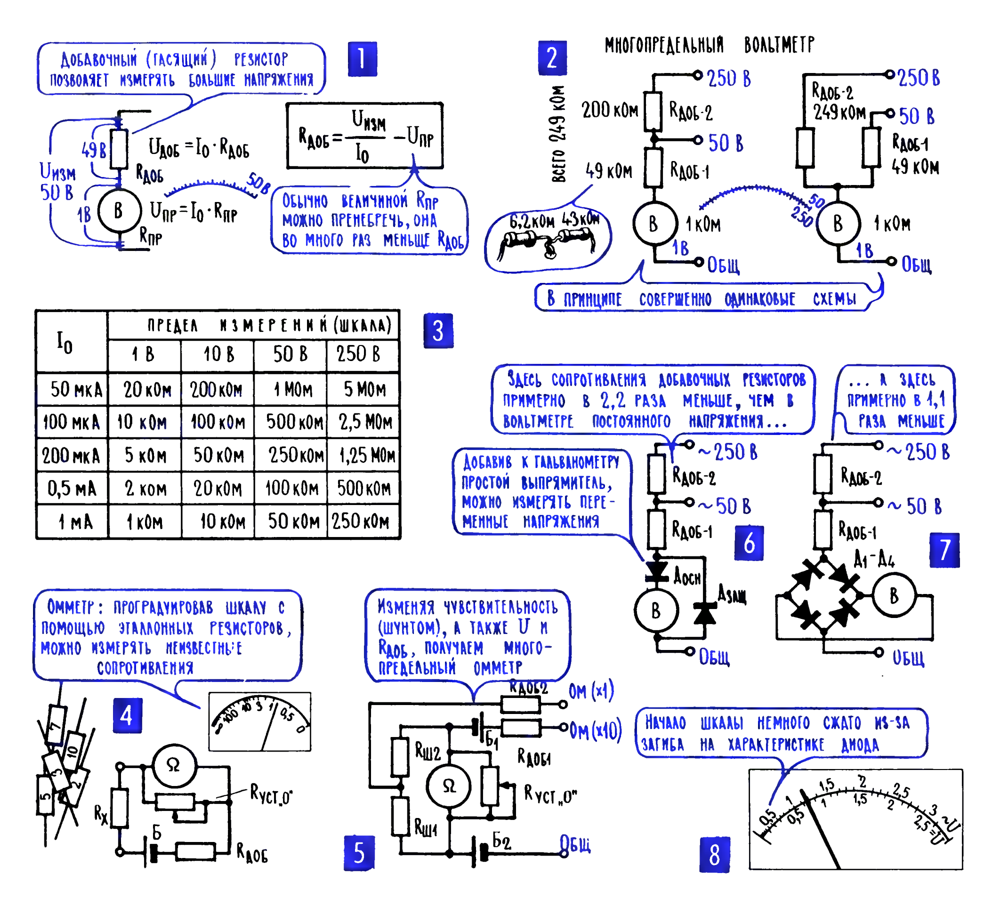
Закон Ома подсказывает, как нужно оценивать тот или иной гальванометр для его использования в вольтметре. Оценка простая: чем выше чувствительность гальванометра, тем больше будет его входное сопротивление. Понять это нетрудно: чем выше чувствительность, то есть чем меньше ток, отклоняющий стрелку до конца, тем больше должно быть сопротивление резистора, который поглощает избыток напряжения (Р-174; 1, 2, 3). Скажем, для того чтобы погасить 99 *В* при токе 1 *А*, понадобится резистор с сопротивлением 99 *Ом*, а при токе 1 *мА* сопротивление должно быть уже в 1000 раз больше, то есть 99 *кОм*. Переключая гасящие резисторы, получаем многопредельный вольтметр (Р-174; 2), входное сопротивление которого будет

различным на разных шкалах. Сопротивление это легко подсчитать, зная чувствительность гальванометра вместе с универсальным шунтом (Р-174; 3). Так, при чувствительности 1 *мА* на каждый вольт будет приходиться 1 *кОм* добавочных резисторов и на шкале 20 *В* входное сопротивление прибора 20 *кОм*. При чувствительности 0,2 *мА* (200 *мкА*) сопротивление уже 5 *кОм* на вольт, при чувствительности 100 *мкА* — 10 *кОм* на вольт и т. д.

Имея стрелочный гальванометр и источник питания, например гальванический элемент, легко создать комбинированный прибор, в котором, помимо амперметра и вольтметра, будет еще и омметр. В самой простой схеме омметра резистор с неизвестным сопротивлением R_x включается последовательно в цепь гальванометра и гальванического элемента. Чем больше измеряемое сопротивление R_x, тем меньше ток, меньше отклонение стрелки и шкалу легко проградуировать в омах, пользуясь резисторами, сопротивление которых известно (Р-174; 4). Переключая шунты, добавочные резисторы и источники тока, можно создать многопредельный (многошкальный) омметр (Р-174; 5). Чтобы компенсировать возможное изменение напряжения источника тока, например из-за старения элементов, в схему вводят переменный резистор — «установку нуля». С его помощью перед измерением устанавливают стрелку на нулевое деление, замыкая накоротко вход прибора,— это соответствует нулевому измеряемому сопротивлению, при котором, естественно, стрелка должна быть на «нуле» шкалы омметра.

Наконец, еще один элемент комбинированного измерительного прибора — вольтметр переменного напряжения. В нем используется все тот же гальванометр постоянного тока, но уже с полупроводниковым выпрямителем — мостовым (Р-174; 7. Т-265), либо однополупериодным (Р-174; 6) с основным $Д_{осн}$ и защитным $Д_{защ}$ диодами. Защитный диод нужен для того, чтобы при измерении больших напряжений на основном диоде не оказалось слишком большое обратное напряжение, которое может вывести его из строя. В те полупериоды, когда основной диод не пропускает ток, защитный просто шунтирует его, резко снижая сопротивление всего участка «основной диод — гальванометр». Комплект гасящих резисторов делает вольтметр многопредельным. Такой вольтметр измеряет постоянную составляющую выпрямленного тока, но шкалу его, конечно, градуируют (с помощью эталонного вольтметра) в эффективных значениях переменного напряжения.

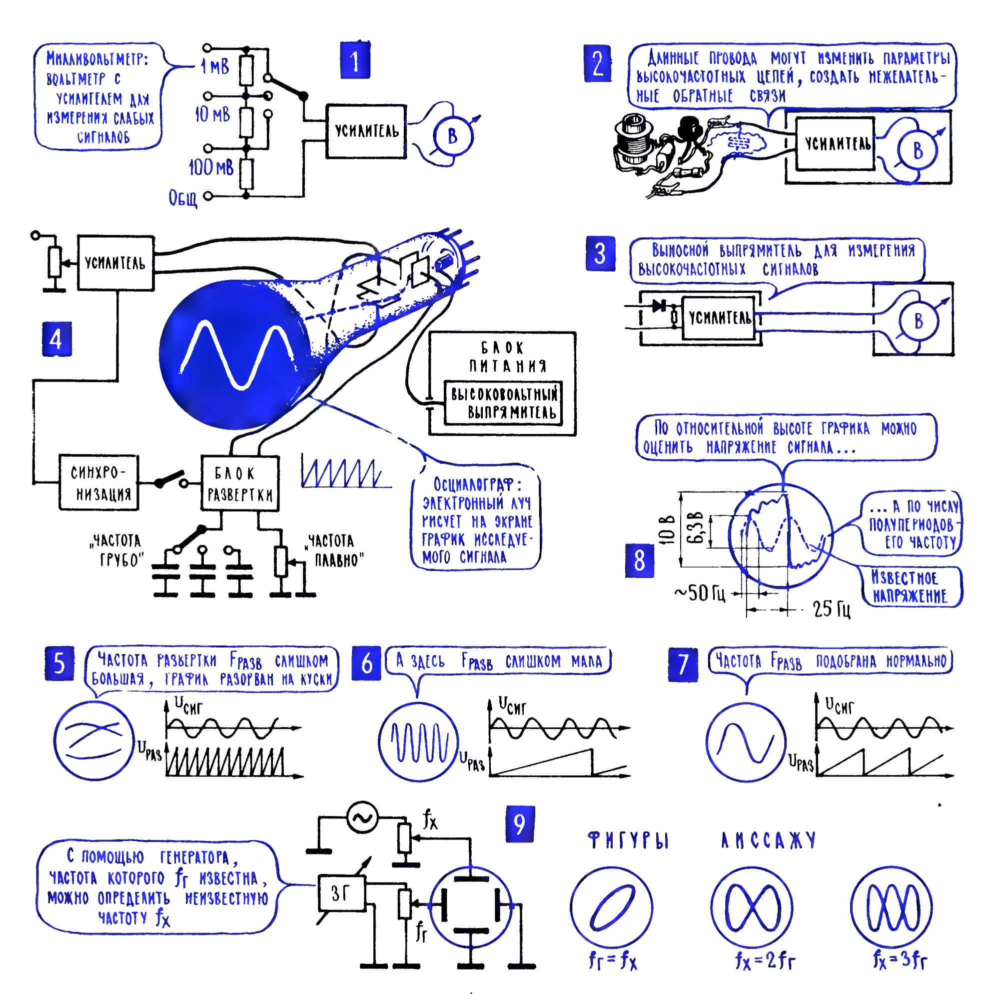
Авометр легко изготовить своими силами, если есть достаточно чувствительный гальванометр и какое-либо переключающее устройство, в простейшем случае панелька от лампы (К-16), а еще лучше от кинескопа — в ней больше гнезд. Резисторы можно рассчитать (Р-173; 3. Р-174; 1), а затем точно подобрать, пользуясь эталонным прибором, например другим авометром. Начинать нужно с универсального шунта, его можно намотать тонким высокоомным проводом или собрать из нескольких непроволочных резисторов. Градуировку амперметра (то есть подбор точки отвода у шунта) и разметку шкалы выполняют, включив оба прибора — эталонный и налаживаемый — по схеме Р-173; 2. А для градуировки вольтметра его подключают (вместе с эталонным прибором) к переменному резистору, включенному делителем напряжения. Установив с помощью этого делителя нужное напряжение на шкале эталонного вольтметра, подбирают $R_{доб}$ с таким расчетом, чтобы стрелка налаживаемого установилась на последнее деление. Добавочные сопротивления обычно составляют из двух резисторов с большим и с малым сопротивлением. Вот этим малым сопротивлением можно очень точно подогнать величину $R_{доб}$ (Р-174; 2).



I_0	Предел измерений (шкала)			
	1 В	10 В	50 В	250 В
50 мкА	20 кОм	200 кОм	1 МОм	5 МОм
100 мкА	10 кОм	100 кОм	500 кОм	2,5 МОм
200 мкА	5 кОм	50 кОм	250 кОм	1,25 МОм
0,5 мА	2 кОм	20 кОм	100 кОм	500 кОм
1 мА	1 кОм	10 кОм	50 кОм	250 кОм

Т-291. Милливольтметр позволяет измерять уровень слабых сигналов. Вольтметр переменного напряжения чаще всего используется для того, чтобы измерять напряжение в сети или на обмотках трансформатора. Этим прибором можно измерить и достаточно сильный низкочастотный сигнал, например, напряжение на выходе усилителя низкой частоты. Но если нужно измерить сигналы напряжением в десятые доли вольта или даже несколько десятков милливольт (сотые доли вольта), то здесь простейший вольтметр с выпрямителем уже помочь не может, здесь нужен прибор с предварительным усилителем — милливольтметр (Р-175; 1). Милливольтметр, как правило, рассчитан на низкие частоты: его длинные выходные провода имеют значительную емкость, их подключение к высокочастотной цепи может сильно изменить ее собственные параметры (Р-175; 2).

Для измерения высокочастотных напряжений нужен выносной выпрямитель, а если это небольшие напряжения, скажем, милливольты, то выносной выпрямитель с усилителем. Это самостоятельный блок, который подключается к исследуемой высокочастотной цепи как можно более короткими проводами, а к самому измерительному прибору по длинному проводу идет уже выпрямленный ток (Р-175; 3). Практическая схема очень простого, можно даже сказать примитивного, выносного блока показана на К-16; 3. Примитивным этот блок назван потому, что он рассчитан не на измерение малых переменных напряжений (в том числе высокочастотных), а лишь на



приблизительную оценку их величины. Но зато прибор позволяет заметить, растет или уменьшается относительный уровень сигнала, а это само по себе бывает очень важно, например при настройке контуров приемника (Т-299) или измерении индуктивности катушек (Т-294).

Т-292 **Т-292. Осциллограф позволяет оценивать уровень слабых сигналов, их форму и частоту.** Особое место среди измерительных приборов занимает осциллограф. Индикатором в нем служит электронно-лучевая трубка, такая же, как и в телевизоре, но только с электростатической разверткой. Основные узлы осциллографа (Р-175; 4) — это сама трубка; система ее питания, включающая высоковольтный выпрямитель; блок развертки с генератором пилообразного напряжения развертки, прочерчивающим на экране горизонтальную линию; усилитель сигнала. С усилителя напряжение сигнала подается на пластины вертикального отклонения, двигает луч вверх-вниз и совместно с разверткой рисует график сигнала. Когда на один горизонтальный прочерк луча приходится один период самого сигнала, то на экране виден именно один период исследуемого напряжения (Р-175; 7). Когда же частота сигнала выше, то на экране сразу несколько периодов (Р-175; 6). Если периодов слишком много и наблюдать их неудобно, то можно увеличить частоту раз-

вертки и тем самым уменьшить число периодов сигнала, которое приходится на один горизонтальный прочерк луча, то есть на один период развертки. Частоту развертки можно менять грубо, скачкообразно, в несколько раз и плавно, добиваясь синхронизации развертки с частотой исследуемого сигнала, при которой картинка стоит на месте, не бегает. В большинстве осциллографов имеется система синхронизации, она автоматически подстраивает генератор развертки, синхронизирует его с сигналом.

Если подать на вход осциллографа калиброванное напряжение (то есть такое, уровень которого известен) и замерить высоту графика на экране, то можно оценить уровень неизвестного сигнала (Р-175; 8). Можно приблизительно оценить частоту сигнала, отметив число периодов на экране и зная примерную частоту развертки. Можно точно измерить частоту синусоидального сигнала по так называемым фигурам Лиссажу — они появляются, если на пластины горизонтального отклонения вместо пилообразного напряжения развертки подать синусоидальное напряжение известной частоты (Р-175; 9). Но важнее другое: осциллограф позволяет судить о форме сигнала, он как бы позволяет увидеть такие процессы, как модуляция, детектирование, выпрямление, сдвиг фаз, показывает форму сигнала в электромузыкальном инструменте, ее изменение под действием различных элементов, формирующих тембр. Наконец, осциллограф демонстрирует форму усиливаемого сигнала в различных участках усилителя низкой частоты и, значит, позволяет обнаружить участки, где возникают нелинейные искажения.

Т-293. Измерительные генераторы — приборы, имитирующие электрический сигнал. Представьте себе, что вам нужно настроить радиоприемник, в частности вогнать в диапазон входные контуры и частоту гетеродина или настроить в резонанс все контуры промежуточной частоты. Как это сделать? Как узнать, на какую именно частоту настроен тот или иной контур? Можно, конечно, ориентироваться на принимаемые станции, предварительно выяснив их частоты. Но значительно удобней пользоваться вспомогательным генератором высокочастотных сигналов, частоту которого можно менять и по шкале прибора точно определять, какую частоту дает генератор. Такой генератор имитирует радиостанцию, и сигнал с него подается или прямо в антенну, или в какую-либо другую цепь радиоприемника, скажем на вход усилителя промежуточной частоты. Высокочастотные генераторы для налаживания приемников обычно дают сигнал от нескольких микровольт до нескольких вольт, и уровень сигнала можно регулировать. Сигнал этот можно также модулировать внутренним и внешним модулятором, и если такой сигнал пройдет по всему приемнику нормально, в громкоговорителе будет слышен звук.

Есть и низкочастотные измерительные генераторы, их частотный диапазон обычно от 20 *Гц* до 20—30 *кГц* и выходное напряжение от нескольких милливольт до нескольких вольт. Они имитируют сигнал, который дает микрофон или звукосниматель, но, конечно, для налаживания и проверки усилителей низкой частоты генератор несравненно удобней, чем источник реального сигнала речи или музыки. Хотя бы потому, что с помощью генератора легко снять частотную характеристику усилителя и оценить уровень нелинейных искажений, а прослушивая музыку, обо всем этом можно судить довольно приближенно, ориентируясь только на свой слух.

Кроме двух названных типов генераторов, простейшие практические схемы которых, кстати, приведены на К-16, существуют еще и другие источники сигналов. Например, генераторы для проверки телевизоров, импульсные генераторы, генераторы качающейся частоты, позволяющие на осциллографи-

ческой приставке видеть частотные характеристики и, в частности, резонансные кривые.

Т-294. Существуют разнообразные методы измерения сопротивления, емкости, частоты, параметров транзисторов. Измерительная техника плюс некоторая изобретательность открывают широкие возможности для самых разных измерений. Простейшие примеры — измерение сопротивлений методом вольтметра-амперметра (Р-24; 5) или с помощью измерительного мостика (Р-176; 1, 2). Мост — это два делителя напряжений, между средними точками которых, то есть в диагональ моста, включен гальванометр или какой-либо другой индикатор тока, вплоть до лампочки с усилителем (К-2; 11, 12).

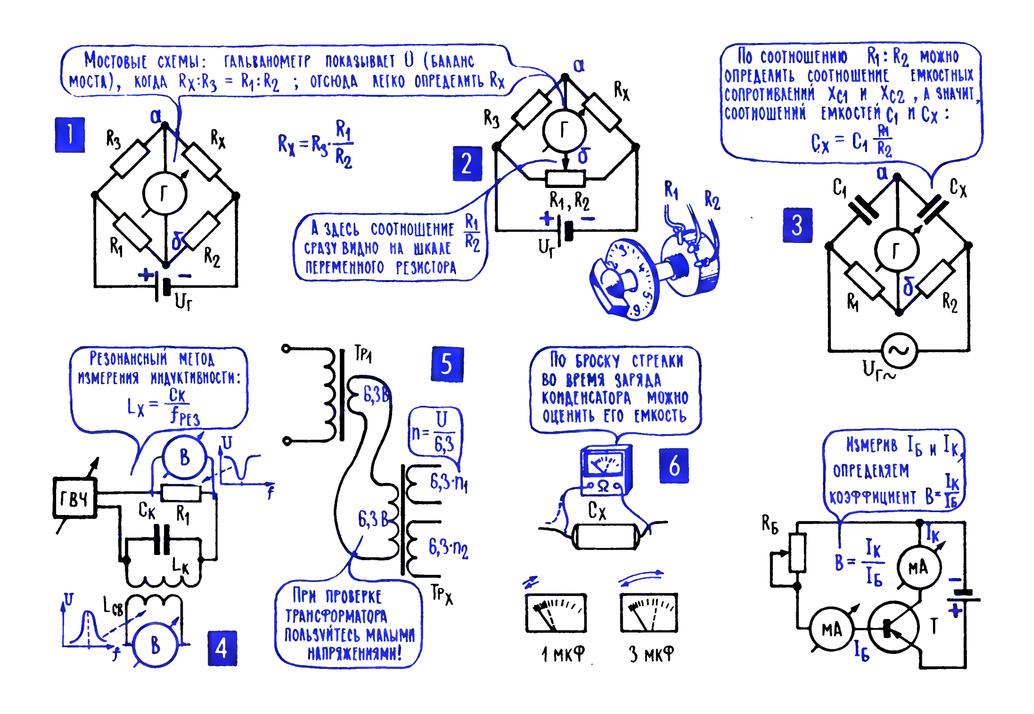
Если оба делителя, в нашем примере R_3R_x и R_1R_2, в одинаковой пропорции делят напряжение (а к каждому из них подводится одно и то же напряжение $U_г$), то между точками *аб* нет никакого напряжения и гальванометр показывает отсутствие тока в диагонали моста. Это баланс моста, он наступает в том случае, когда соотношение сопротивлений в обоих делителях одинаково и, исходя из этого условия, легко подсчитать неизвестное сопротивление. Аналогично можно создать мост для измерения емкости или индуктивности, но в нем уже, конечно, должен быть источник переменного напряжения (Р-176; 3).

Более удобен для измерения индуктивности резонансный метод (Р-176; 4). Изменяя частоту генератора, добиваются резонанса в контуре, куда входят неизвестная индуктивность и известная емкость; заметив частоту, на которой наблюдался резонанс (по шкале генератора) и зная емкость, нетрудно подсчитать, чему равна индуктивность (Р-58; С-17). Контур подключают к генератору и к индикатору резонанса через катушку связи или через большое сопротивление — шунтируя контур, приборы могут сильно снизить его добротность или, что еще хуже, внести в контур большую емкость. Можно включить индикатор и последовательно с контуром (прибор на Р-176; 4), в этом случае резонанс соответствует минимальному показанию прибора: на резонансной частоте сопротивление параллельного контура резко возрастает, и ток в цепи генератора уменьшается (Т-85). Во всех случаях для измерений нужен высокочастотный вольтметр, например авометр с выносным усилителем-выпрямителем (К-16; 2).

Имея катушку с известной индуктивностью, можно резонансным методом измерить емкость конденсатора, но такая потребность бывает редко: емкость написана на самом корпусе конденсатора. Чаще бывает нужно оценить емкость электролитического конденсатора, который может высохнуть и потерять емкость или по какой-нибудь иной причине прийти в негодность. Такую проверку проще всего произвести с помощью омметра (Р-176; 6): бросок стрелки в момент подключения конденсатора косвенно говорит о величине зарядного тока, а он, как известно, пропорционален емкости конденсатора. Этим способом можно проверить конденсаторы емкостью порядка 1—5 *мкФ* и более.

Имея вольтметр переменного напряжения, можно проверить и трансформатор, используя для этого сетевое напряжение, пониженное до 5—10 *В* (Р-176; 5). Это необходимо для того, чтобы на обмотках неизвестного трансформатора не появилось слишком большое напряжение, может быть, даже опасное для жизни, не говоря уже о том, что, нечаянно подав большое напряжение на низковольтную обмотку, можно просто погубить трансформатор.

С помощью двух измерителей тока или даже одного, но с переключателем, можно определить такой важный параметр транзистора, как коэффициент



Р-176

усиления *В* (Р-176; 7. Т-144). Практическая схема прибора для измерения *В*, выполненного в виде приставки к авометру, приведена на К-16; 1.

Все эти примеры — лишь очень небольшая часть того, что можно сделать с помощью измерительных приборов для определения разных параметров самых разных деталей и элементов схемы. Другая, не менее важная область применения приборов — измерения в процессе разработки и налаживания электронных схем.

Т-295 **Т-295. Прежде чем подвести к схеме питающее напряжение, ее нужно тщательно проверить.** Еще недавно, в ламповую эпоху, все это происходило так: заканчивалась сборка схемы, к ней (разумеется, после проверки!) подводилось питание, как правило, сетевое, и сразу же начинали светиться катоды внутри ламповых баллонов. Уже от одного этого становилось веселее — видно было, что дело пошло. А бывало и так, что после подачи питания внутри баллонов начинали проскакивать страшные искры или вдруг начинал чернеть, обугливаться какой-нибудь резистор, довольно бесцеремонно запахом горелого отмечая, что при монтаже была допущена ошибка и нужно немедленно выдергивать вилку из розетки.

При включении транзисторных схем ничего такого не происходит. Прежде всего нет никаких внешних признаков того, что сам транзистор работает, да и неприятности в транзисторных схемах проходят тихо: напряжение и мощности в цепях сравнительно небольшие, и, если в схеме допущена роковая ошибка, транзисторы погибают молча.

Перед включением питающего напряжения транзисторные схемы нужно проверять с особой тщательностью. Лучше всего вооружиться пинцетом, которым заодно можно проверить надежность пайки, и затем деталь за деталью, цепь за цепью сличать монтаж с принципиальной схемой. Но и после этого для гарантии стоит сделать еще одну проверку — посмотреть, не попал ли случайно «плюс» на «минус», не оказались ли они накоротко соединен-

ными из-за какой-то незамеченной ошибки или неисправного конденсатора. Для этого лучше всего включение питающего напряжения произвести под контролем (Р-177; 2), включив последовательно с батарейкой миллиамперметр (примерную величину общего потребляемого тока нетрудно подсчитать, и, если прибор покажет, что ток значительно больше, немедленно выключайте питание и ищите неисправность) или вольтметр (если после включения батарейки питающее напряжение на ней резко упадет, значит, схема потребляет чрезмерно большой ток или вам попалась старая батарейка).

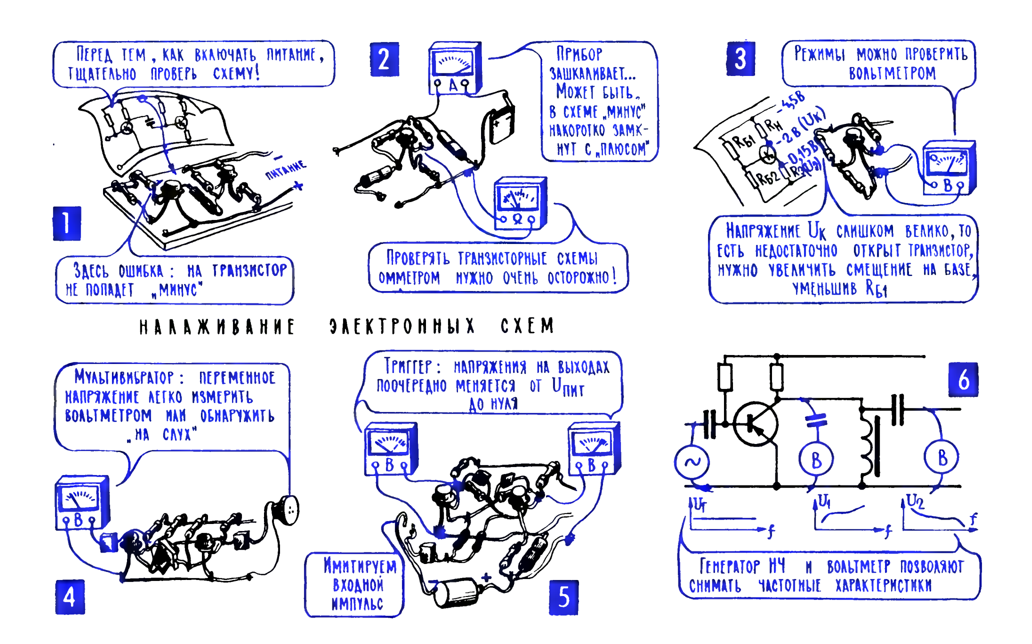
Обнаружить короткое замыкание можно, конечно, и омметром, но в транзисторных схемах пользоваться омметром нужно очень осторожно. Приходится учитывать, что при измерениях напряжение с внутренней батареи омметра попадает на схему.

Найти ошибку в схеме не всегда просто — вы уже пригляделись к монтажу и можете легко пропустить замаскировавшиеся, или, как говорят издательские корректоры, глазные, ошибки. А тут еще возможны неприятности из-за неисправных деталей, скажем, из-за конденсатора с оборванным выводом или транзистора с пробитым, то есть замкнутым накоротко *pn*-переходом. Проверка схемы перед ее включением — дело тонкое, оно требует собранности, неторопливости и, если хотите, таланта исследователя. И как ни хочется побыстрее включить питание и посмотреть, что же все-таки получилось, спешить с этим делом не стоит. Поспешишь — сам себя огорчишь.

Т-296 **Т-296. Налаживание любой схемы можно начинать с проверки режимов по постоянному току.** В том случае, если схема собрана без ошибок и включение ее прошло без неприятностей и даже если она уже проявила признаки жизни: приемник схватил какую-то станцию или мультивибратор замигал лампочками,— целесообразно сразу же проверить режимы транзисторов по постоянному току (Р-177; 3) и, если нужно, подбором тех или иных резисторов подогнать эти режимы поближе к рекомендуемым, указанным на схеме. Здесь, может быть, и не стоит гоняться за долями вольта, но значительную разницу устранить нужно: слишком сильно открытый транзистор — это излишний потребляемый ток, слишком закрытый — искажение сигнала. Строго говоря, подбирая режимы, нужно измерять токи в коллекторной, базовой и эмиттерной цепях, однако значительно проще измерять напряжения на тех или иных резисторах — не нужно разрывать цепь, чтобы включить миллиамперметр.

Т-297 **Т-297. Некоторые особенности налаживания генераторов, импульсных схем, усилителей низкой частоты.** Проверка монтажа и подгонка режимов — операции общие при налаживании всех без исключения электронных схем. Но кроме того, для каждой группы схем существуют свои специфические операции проверки и налаживания. Скажем, при проверке генератора мало увидеть, что на транзисторе действуют нормальные постоянные напряжения, важно еще убедиться, что генератор генерирует, что на его выходе есть переменное напряжение, основная продукция генератора. У низкочастотного генератора, например у мультивибратора, напряжение можно измерить обычным авометром или даже послушать с помощью трансляционного громкоговорителя или лучше головного телефона (Р-177; 4). Если есть осциллограф, то можно не просто убедиться в том, что генератор работает, но и посмотреть форму кривой, что иногда очень важно.

Для проверки работы высокочастотного генератора уже, конечно, нужен высокочастотный вольтметр, например микроамперметр с выносным выпрямителем по схеме К-16; 2. А можно проверить генератор и иначе: включив миллиамперметр в коллекторную цепь постоянного тока или измеряя на-



пряжение на резисторе, по которому проходит коллекторный ток (Р-178; 2). Дело в том, что если генератор работает, то постоянный коллекторный ток оказывается чуть меньше, чем у неработающего генератора: с возникновением генерации на коллекторной нагрузке появляется некоторое переменное напряжение, которое изменяет весь режим транзистора, в том числе и немного уменьшает постоянный коллекторный ток. Поэтому если у работающего генератора сорвать колебания, а это сделать очень просто, закоротив, например, контур конденсатором большой емкости, то сразу же немного увеличится коллекторный ток. А если генератор не работал, то при замыкании контура постоянный ток (постоянное напряжение на резисторе) не изменится.

Налаживание многих импульсных схем, в частности схем электронной автоматики, приведенных на К-19 и К-20, проводится с учетом того, что они работают по правилу «все или ничего», которое, кстати, первым обнаружили физиологи, исследуя кибернетические системы живой природы. Применительно к нашим импульсным схемам это правило означает, что их продукция — выходное напряжение — либо близка к полному напряжению питания, либо близка к нулю. Это легко обнаружить, если, подключив вольтметр к выходу того или иного блока, на его вход подавать импульсы постоянного напряжения от отдельной батарейки (Р-177; 5), которая в данном случае имитирует предыдущий блок автоматики. Для налаживания блоков на их вход подается небольшое постоянное или низкочастотное напряжение, которое имитирует сигнал с фотоэлемента или с микрофона.

Одна из наиболее распространенных практических схем — усилитель низкой частоты. Налаживание его облегчается тем, что усилитель сам рассказывает о своей работе, причем не в переносном, а в прямом смысле: громкостью и чистотой звука в громкоговорителе. Но, конечно же, приборы позволяют более точно наладить усилитель, свести к минимуму частотные и нелинейные искажения в отдельных его узлах (Р-177; 6), добиться наибольшей выходной мощности при минимуме искажений. Особенно важна наладка выходных каскадов двухтактного бестрансформаторного усилителя (К-13). Здесь

должны быть очень точно выставлены режимы последних транзисторов, начиная с фазоинвертора, иначе выходной сигнал будет «сшиваться» из неодинаковых, несимметричных половинок, а это приведет к очень большим нелинейным искажениям. Что и как конкретно нужно делать, чтобы получить симметричный сигнал, коротко рассказано в описании схемы К-13.

Т-298

Т-298. Чтобы устранить самовозбуждение усилителя, нужно ликвидировать паразитную обратную связь. При налаживании усилителей низкой частоты, как, впрочем, и любых усилителей, довольно часто приходится сталкиваться с такой неприятностью: схема работает, но не как усилитель, а как генератор. Это — самовозбуждение, результат возникновения сильной положительной обратной связи, никем, конечно, не запланированной, паразитной (Т-200). Иногда обнаружить самовозбуждение довольно просто — усилитель начинает выть, свистеть или булькать. Но бывает, что частота самовозбуждения лежит за пределом воспроизводимых усилителем частот или даже за пределом слышимых звуков — усилитель генерирует ультразвук. Эта неприятность обнаруживается по косвенным признакам, в частности по очень сильным нелинейным искажениям, сильным хрипам. Во всех случаях самовозбуждение усилителя легко обнаружить с помощью вольтметра переменного напряжения или еще лучше — осциллографа.

Но от «обнаружить» до «устранить» часто лежит нелегкий путь — найти конкретную причину самовозбуждения и избавиться от него не всегда просто. Начать можно с проверки фильтров, увеличения их емкости и сопротивления, с введения дополнительных фильтров в цепях коллекторного питания отдельных каскадов. Целесообразно также на время отключить цепи отрицательной обратной связи: может быть, в них на каких-то частотах отрицательная связь становится положительной (Р-116; 4). Иногда в поисках виновника генерации приходится даже уменьшать усиление каскадов, чтобы этим ослабить паразитный сигнал, каким-то образом попадающий с выхода на вход.

Т-299

Т-299. Налаживание приемника в основном сводится к настройке его контуров. Несколько слов об особенностях налаживания приемников. Будем считать, что усилитель низкой частоты уже налажен и детектор тоже работает нормально: если детектор собран правильно, то от него трудно ожидать каких-нибудь неприятностей. Остается настроить высокочастотный тракт — в приемниках прямого усиления входной контур и усилитель ВЧ; в супергетеродинах — входной контур, преобразователь частоты, гетеродин и усилитель ПЧ. Сразу же заметим: типичная неприятность для высокочастотных усилителей (сюда, конечно, относятся и усилители промежуточной частоты) — это их самовозбуждение. Причем обнаружить его, найти конкретного виновника и тем более устранить генерацию, как правило, намного трудней, чем в низкочастотных усилителях. Потому что на высоких частотах обратные связи возникают легче и появляются они в самых неожиданных местах: неудачно расположенные катушки или даже два параллельных проводника с высокочастотными токами разных каскадов, и вот уже усилитель начинает генерировать. Прием станций при этом сопровождается подсвистыванием или становится совсем невозможным из-за сильного свиста и воя.

Поиск виновников самовозбуждения в усилителях ВЧ и ПЧ ведется примерно так же, как и в усилителях низкой частоты,— проверяют фильтры, вводят дополнительные фильтры, временно уменьшают сопротивления нагрузки. Но для высокочастотных усилителей есть и особые приемы. Можно временно ухудшить добротность контуров, шунтируя какой-нибудь из них резистором в 10—20 *кОм*. Можно поискать в монтаже те самые цепи, из-за

которых возникает паразитная обратная связь, изменяя для этого расположение тех или иных деталей, например пробуя поворачивать какую-нибудь контурную катушку, раздвигать проводники или (это особенно полезно) сокращать протяженность проводов, по которым идут высокочастотные токи. Можно, наконец, временно ввести экран между высокочастотными деталями, скажем, разместить между коллекторным и базовым контуром усилительного каскада заземленную алюминиевую или латунную пластинку. Словом, часто приходится повозиться, чтобы избавиться от генерации в высокочастотном усилителе, но сделать это почти всегда удается. Ну, а выстояв в обороне, нужно наступать: если высокочастотный усилитель работает нормально, есть смысл попытаться выжать усиление побольше, от него, как известно, зависит чувствительность приемника.

Теперь беремся за настройку контуров. В приемнике прямого усиления это часто всего один контур, в который в качестве индуктивности входит магнитная антенна. Для начала нужно любой ценой поймать хоть одну станцию и посмотреть, какому положению конденсатора настройки она соответствует. А затем поймать ту же станцию на уже готовом приемнике, лучше всего заводском, и посмотреть, какое место на частотной шкале она занимает. После этого можно решить, что делать с индуктивностью магнитной

К-19. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ

На этом рисунке и на следующем (К-20) показаны принципиальные и монтажные схемы нескольких элементов электронной автоматики. Они выполнены в виде самостоятельных блоков (модулей), легко стыкуются друг с другом и позволяют собирать самые разные многоэлементные схемы простых автоматов и схемы телеуправления. Все электронные модули рассчитаны на питание 4—4,5 *В*, многие из них нормально работают при напряжении 3—3,5 *В*.

1. Мультивибратор, М (см. Т-176). Служит источником сравнительно медленных тактовых импульсов; их частота примерно 0,5—1 *Гц*, то есть импульсы следуют один за другим с интервалом 1—2 *с*. Частоту импульсов можно изменить, меняя в некоторых пределах R2, R3 и C1, C2. Выходное напряжение можно брать с любого плеча мультивибратора, имея в виду, что у выходного напряжения отрицательная полярность — оно меняется от 0 (транзистор открыт, все напряжение на R1 или R4, и на коллекторе ничего почти не остается) до полного коллекторного «минуса» (транзистор закрыт, через нагрузку R1 или R4 ток не идет, и на ней ничего не теряется).

2. Триггер, ТГ (см. Т-181). Импульсное напряжение, например с выхода того же мультивибратора, подается на вход триггера (конденсатор C2) и переводит его из одного устойчивого состояния в другое. При этом на выходах триггера поочередно появляются отрицательные напряжения — когда какой-либо из транзисторов открыт, на его коллекторе почти нулевое напряжение, а когда транзистор закрыт — на его коллекторе полный «минус». В случае, если триггер плохо запускается, то есть не всегда срабатывает, или если, наоборот, триггер дает ложные срабатывания под действием незначительных помех, можно попробовать несколько изменить R2, R3 или C2, R5. Но лучше всего, конечно, ввести в схему формирователь импульсов (К-20; 2), ввести развязывающий фильтр в цепь питания триггера, применить отдельный источник для питания схем автоматики. А самое лучшее — заняться подавлением помех в месте их возникновения. Чаще всего помехи создают микродвигатели и реле, которые полезно шунтировать конденсаторами.

3. Схема И (см. Т-267). У этой схемы два входа, ВХ-1 и ВХ-2, при необходимости число их можно увеличить, вводя для каждого нового входа новый полупроводниковый диод. Схема срабатывает, когда одновременно на оба входа — и на первый, и на второй — поданы отрицательные напряжения, «минусы». Они открывают транзистор, и на выходе, на R2, появляется напряжение, «минус» которого снимается с провода ВЫХ.

Теперь поясним, почему транзистор T1 схемы И откроется только при одновременном появлении обоих входных сигналов. Рассмотрим работу схемы на таком примере: сигналы на ВХ-1 и ВХ-2 подаются с выхода двух разных мультивибраторов, то есть с коллекторов двух независимо открывающихся и закрывающихся транзисторов. Предположим, что в какой-то момент открыты оба транзистора и поэтому на их коллекторах напряжение равно нулю. При этом оба входа, ВХ-1 и ВХ-2, фактически сидят на «земле» (см. Т-8) — на них напряжение 0, такое же, как и на общем проводе, на «земле».

На базу Т1 при этом никакое напряжение не поступает, транзистор закрыт, коллекторного тока нет, и, значит, нет напряжения на выходе (на R2).

Теперь предположим, что один из мультивибраторов, скажем подключенный ко входу ВХ-1 схемы И, изменит свое состояние и его выходной транзистор закроется. В этом случае на ВХ-1 поступает большой «минус» (транзистор мультивибратора закрылся, напряжение на его коллекторе резко поднялось), однако он не сможет открыть транзистор схемы И — база этого транзистора по-прежнему сидит на «земле», ее замыкает на «землю» второй диод, Д2. Схема сработает только после того, как «минус» попадет сразу на оба диода, Д1, Д2, и оба они одновременно окажутся оторванными от «земли» (диоды включены так, что их запирает «минус», поступающий со стороны ВХ-1 и ВХ-2). В этом случае на базу через R1 попадет собственный «минус» схемы И, транзистор откроется, появится коллекторный ток, а вместе с ним выходное напряжение на R2.

4. Схема ИЛИ (см. Т-267). Здесь входные сигналы попадают на базу транзистора Т1 через диоды, которые включены в обратной полярности по сравнению со схемой И. Теперь «минус», поступивший на любой вход, или на ВХ-1, или на ВХ-2, откроет транзистор.

5. Схема НЕ (см. Т-267). Здесь выходной сигнал снимается не с эмиттерной нагрузки, как в двух предыдущих схемах, а с коллектора. И поэтому, когда появится входной сигнал («минус» на ВХ), выходной сигнал исчезнет — транзистор Т1 откроется, его ток создаст большое напряжение на R_3, и напряжение на коллекторе (и значит на ВЫХ) упадет до нуля. А когда входной сигнал исчезнет (на ВХ — ноль), транзистор Т1 закроется и появится выходной сигнал («минус» на ВЫХ). Это как раз и требуется от схемы НЕ, она должна давать выходной сигнал при отсутствии входного, и, наоборот, с появлением входного сигнала должен исчезать сигнал на выходе схемы НЕ. Делитель R1, R2 введен для того, чтобы схема НЕ не слишком нагружала предыдущий каскад — ей для срабатывания достаточно 0,3—0,5 *В*, а с предыдущего каскада, например с мультивибратора или с триггера, поступает 4—4,5 *В*. Если схема НЕ подключается к схемам И или ИЛИ, на эмиттерной нагрузке появляется сигнал в 1—1,5 *В*, сопротивление R1, если понадобится, можно уменьшить в два-три раза.

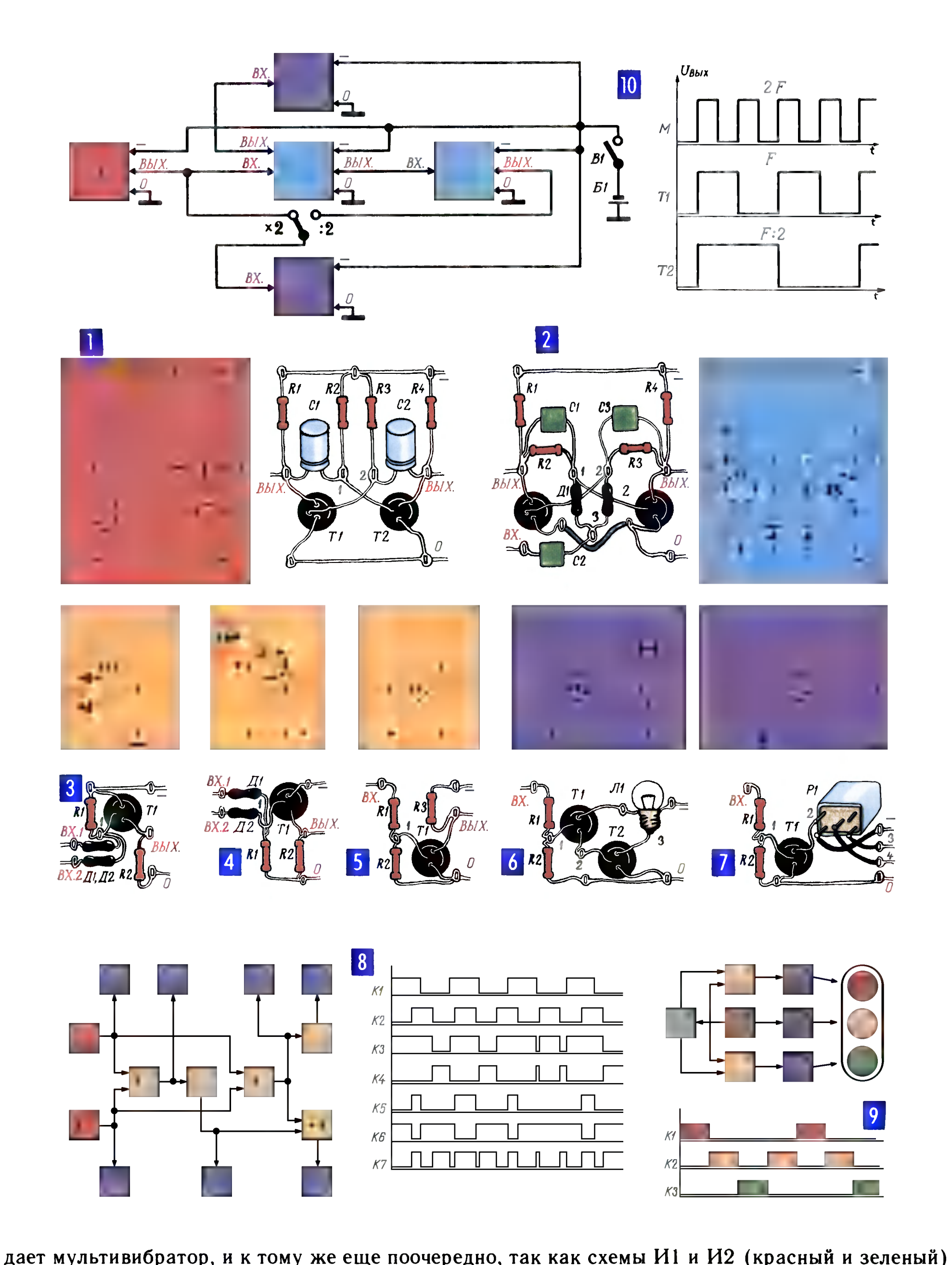
6. Электронный ключ, К (см. Т-264). Это усилитель постоянного тока на составном транзисторе Т1, Т2, который открывается обычным для наших модулей сигналом — «минусом». Такое электронное реле может включать нагрузку небольшой мощности — до 0,5—0,6 *Вт*. Транзисторы, как и в других модулях (мультивибратор, триггер, логические схемы и др.), работают в режиме насыщения: входной сигнал полностью открывает транзистор, нагрузка выбрана такой, что напряжение на коллекторе открытого транзистора практически равно нулю. Поэтому можно работать при максимальном для маломощных транзисторов токе (100—150 *мА*) и напряжении на нагрузке, равном напряжению питания, не опасаясь перегрева коллекторного перехода. Все это позволяет включать с помощью данного ключа лампочки, рассчитанные на напряжение 3,5 *В* и ток до 0,15 *А*.

7. Электронный ключ с электромагнитным реле. Мощность сигнала, который дают описанные модули, недостаточна для срабатывания многих распространенных типов электромагнитных реле, и такие реле включаются вместе с однокаскадным усилителем. С его помощью ключ срабатывает при токе, который в *В* раз меньше, чем ток срабатывания самого реле. Если не хватит одного каскада, реле можно включить в предыдущий модуль (вместо лампочки). Электронный ключ с электромагнитным реле может переключать значительно более мощную нагрузку, чем чисто транзисторный ключ К-19;6 (например, двигатели, елочные гирлянды), и к тому же производить переключения в цепях со сравнительно высоким напряжением, недопустимым для самих транзисторов. Кроме того, многоконтактное реле может производить достаточно сложные переключения, например осуществлять реверс двигателя.

8. Мигалка с логикой. Это демонстрационная модель, которая, кстати, может быть использована для сложного переключения елочных гирлянд. Два мультивибратора М1 и М2 с разными частотами через различные логические схемы И, ИЛИ, НЕ включают семь электронных ключей К1—К7. График поясняет, как будут загораться лампочки. Видно, например, что ключ К5 включит свою лампочку только в том случае, если поступает сигнал и с М1, и с М2; а К6 срабатывает от той же схемы И, но только через НЕ, и лампочка в этом ключе будет гореть, когда не горит лампочка в К5.

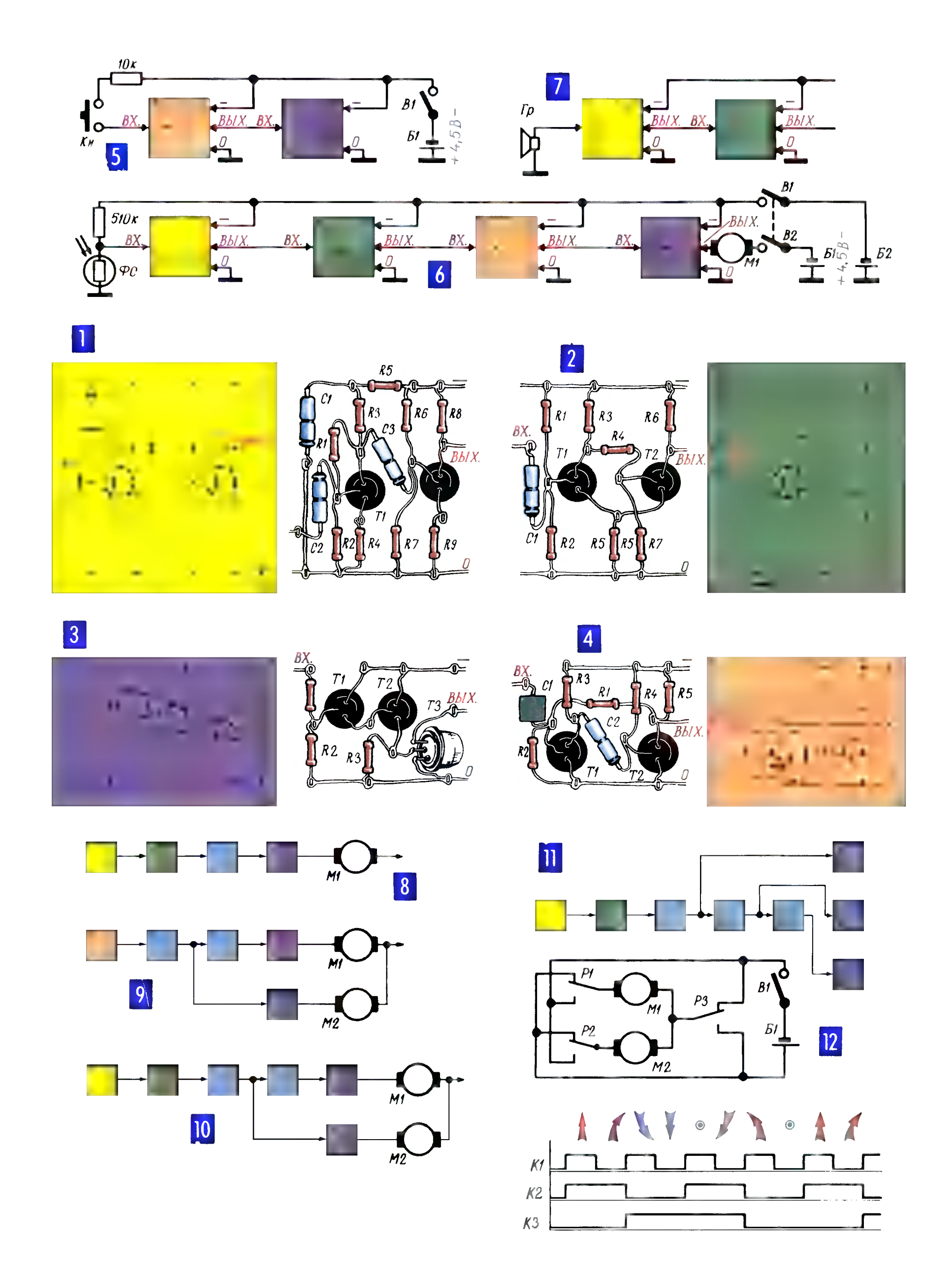
9. Светофор-автомат. Это тоже демонстрационная модель, но с помощью мощных реле она прекрасно могла бы управлять настоящим светофором-автоматом.

В этом автомате все начинается с мультивибратора М. Прежде всего он «через такт» включает ключ К2 — желтый свет. Теперь нужно, чтобы в паузах между желтым поочередно включался красный и зеленый. Это делается с помощью триггера ТГ и двух схем И. Один из сигналов, запускающих обе схемы И,— это импульс с левого плеча мультивибратора, он действует как раз в те моменты, когда ключ К2 (желтый) не включен. Ну, а второй сигнал на схемы И1 и И2 поочередно поступает с разных транзисторов триггера ТГ. Поэтому красный или зеленый включается только на время действия «своего» сигнала с мультивибратора (в паузах желтого). В то же время благодаря триггéру они включаются с частотой в два раза более низкой, чем



дает мультивибратор, и к тому же еще поочередно, так как схемы И1 и И2 (красный и зеленый) получают второй открывающий сигнал с разных выходов триггера (ВЫХ′ или ВЫХ″).

10. Модель электронной счетной машины. Эта модель, конечно, совсем не похожа на настоящие ЭВМ, хотя в ней есть элементы, общие для большинства электронных вычислительных устройств, представление чисел импульсами тока и применение триггеров. Мультивибратор М подает импульс на цепочку из двух триггеров Т1, Т2; первый из них делит частоту импульсов мультивибратора на 2, второй на 4. Частоту импульсов после Т1 принимаем за основную частоту *F*. Тогда частота после Т2 будет *F* : 2, а частота мультивибратора — 2*F*. Поэтому если считать число импульсов после Т1, то триггер будет производить операцию «:2», а мультивибратор — операцию «×2». Используя в качестве К ключи с реле (К-19;7), можно создать на основе этой модели эффектный переключатель елочных гирлянд.



К-20. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ

Прежде чем заниматься радиоуправлением, оформлять разрешение на необходимый для этого радиопередатчик, строить радиоприемник, можно попробовать построить модель, управляемую на расстоянии световыми или звуковыми импульсами. С ролью передатчика в такой системе прекрасно справляется карманный фонарик (светоуправление) или свисток (звукоуправление). Звукоуправляемые модели подчиняются даже громким хлопкам в ладоши или громко произнесенным словам, что, конечно, выглядит очень эффектно. Освоившись со светоуправлением и звукоуправлением, легче будет перейти к радиоуправлению, которое главным образом отличается своим «дальнодействием». Сами системы выделения команд и включения исполнительных механизмов во свех системах телеуправления могут быть одинаковыми.

1. Усилитель, У. В системах свето- и звукоуправления сигнал с микрофона или с фотоэлемента (фоторезисторы) в итоге воздействует на тот или иной исполнительный механизм, но, поскольку этот сигнал слаб, его нужно усилить. Именно это и делает наш простой двухкаскадный усилитель. На вход в качестве звукоприемника можно включить любой микрофон, а если его нет, то головной телефон или громкоговоритель, лучше с выходным трансформатором (трансформатор в данном случае будет включен как повышающий). Если микрофон будет установлен на движущейся модели, например на электрифицированной игрушке «Планетоход» или «Танк», нужно принять меры, чтобы вибрации корпуса не передавались микрофону: его лучше закрепить на резиновых или пружинных амортизаторах. Способ включения фоторезистора показан на К-20;6.

2. Формирователь импульсов, Ф. Этот модуль может оказаться необходимым в тех случаях, когда между усилителем и исполнительным механизмом находится какая-либо импульсная схема. В частности, для запуска триггера нужен импульс с крутым фронтом, а микрофон или фотоэлемент выдают сигнал, уровень которого, как правило, меняется постепенно. Формирователь импульсов представляет собой не что иное, как пороговый элемент, триггер Шмитта (Т-268). Как только уровень сигнала на входе формирователя достигнет определенного порога, он резко сработает. А затем, когда сигнал станет ниже порога, триггер Шмитта вернется в исходное состояние. Таким образом формирователь под действием входного сигнала создает прямоугольный импульс с крутыми фронтами.

3. Электронный ключ, К. Эта схема отличается от К-19;6 более мощным выходным транзистором, он уже может включать школьный моторчик, потребляющий ток до 0,5—1 *А*. Вместо транзистора ГТ-403 можно включить П-213 или иной мощный транзистор.

4. Ждущий мультивибратор, ЖМ. Этот модуль под действием любого входного сигнала создает импульс определенной длительности (Т-268). Модуль фактически представляет собой реле времени, оно предназначено для включения исполнительного механизма на 1—3 *с*; это время можно в некоторых пределах менять подбором R4, С2.

5. Реле времени. Замкнув на мгновение кнопку $К_н$, подаем входной сигнал на ЖМ, и он через К на определенное время включает лампочку, мотор, реле и т. п.

6. Система светоуправления с кратковременным пуском. Под действием каждого светового импульса двигатель включается на время работы ЖМ. Сигнал поступает на ЖМ через усилитель У и формирователь импульсов Ф.

7. Система звукоуправления. Здесь показано, что в предыдущей схеме вместо светового сигнала может использоваться звук; для этого на вход вместо фоторезистора включен громкоговоритель, выполняющий роль микрофона.

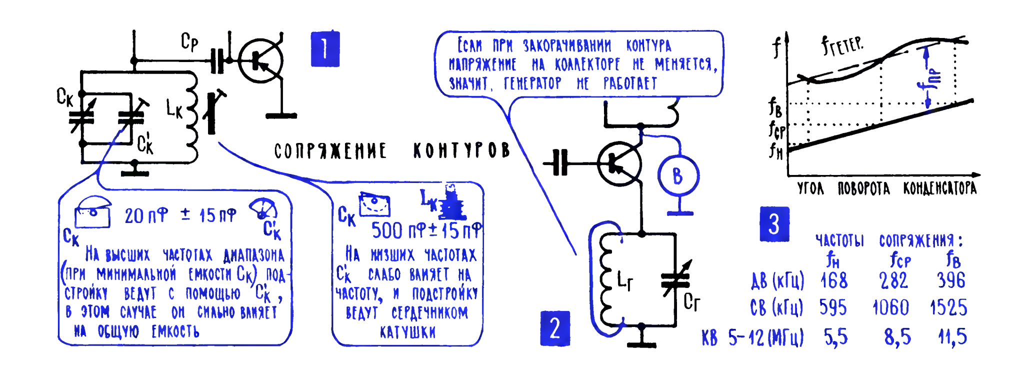
8. Система телеуправления «вперед-стоп». Здесь управляющий сигнал попадает на ключ К через триггер Т и поэтому исполнительный механизм включается через такт. Если, например, первый световой (звуковой) импульс включает двигатель, то второй импульс его выключает, третий опять включает, четвертый опять выключает и т. д.

9. Система с программным управлением «вперед-направо-налево-стоп». Это схема управления для электрифицированной игрушки «Планетоход» или «Танк», у которой левая и правая гусеницы приводятся в движение отдельными двигателями. Тактовый генератор — мультивибратор М включает двигатели через два последовательных триггера. С каждым новым импульсом с мультивибратора триггер ТГ1 срабатывает, за ним ТГ2, и в итоге получаются четыре режима работы двигателей: 1 — включены М1 и М2 (команда «вперед»); 2 — включен только М1 («налево»); 3 — включен только М2 («направо»); 4 — выключены М1 и М2 («стоп»).

10. Система телеуправления «вперед-направо-налево-стоп». Схема отличается от предыдущей только тем, что управляющие команды подаются не автоматически, не с мультивибратора, а со свето- или звукоприемника. И поэтому «Планетоход», получив очередной световой или звуковой импульс от оператора, переходит к следующей команде и выполняет ее (например, движется вперед или поворачивает направо) до тех пор, пока не придет следующий световой (звуковой) импульс.

11, 12. Восьмикомандная система телеуправления «вперед (прямо, направо, налево, стоп)-назад (прямо, направо, налево, стоп)». В эту схему введен еще один триггер ТГ3, который с помощью реле, включенного в электронный ключ (К-19;7), осуществляет реверс двигателя. Поэтому весь цикл команд «прямо», «налево», «направо», «стоп» поочередно выполняется для двух разных направлений движения — вперед и назад.

антенны — увеличивать ее, уменьшать или оставить без изменений. Логика здесь простая: если повысить индуктивность, например сближая секции катушки или увеличивая число витков, то станция будет приниматься при меньшей емкости конденсатора и весь диапазон принимаемых частот сдвинется



вниз, в длинноволновую сторону. Ну а если уменьшить индуктивность, то станция будет приниматься при большей емкости конденсатора настройки и весь диапазон по частоте сдвинется вверх, в коротковолновую сторону. После того, как контур настроен, нужно подобрать оптимальную его связь с первым транзистором (Т-214), не забывая при этом, что если хочешь улучшить добротность контура, выиграть в избирательности, то нужно ослаблять связь контура с транзистором, иногда жертвуя при этом усилением, то есть чувствительностью приемника.

Налаживание супергетеродина лучше всего начинать с проверки самого гетеродина (Р-178; 2); если окажется, что он не работает, то для начала (разумеется, после тщательной проверки схемы, особенно коммутации и проверки режимов) лучше всего попробовать поменять местами концы контурной катушки: может быть, просто она включена так, что обратная связь получается отрицательной, а не положительной, то есть не выполняется условие фаз. Если это не даст результатов, то подозрение падет на условие связи: нужно сблизить контурную катушку с катушкой связи (Р-97; 2, трансформаторная схема), или изменить емкость, с которой снимается обратная связь (Р-97; 7, емкостная трехточка), или, наконец, изменить точку отвода от контурной катушки (Р-97; 6, индуктивная трехточка). Но добиться генерации — это еще полдела, нужно, чтобы гетеродин работал во всем диапазоне и давал напряжение, достаточное для нормального преобразования частоты, примерно от 0,2 *В* до 3 *В*.

Следующий этап — настройка усилителя ПЧ. Проще всего это сделать с помощью высокочастотного генератора, как, кстати, и все остальные операции по настройке приемника. Но если генератора нет, можно настроить усилитель ПЧ по первой же принятой станции. Предположив, что один из контуров, все равно какой, настроен точно на промежуточную частоту, нужно подстроить все остальные контуры в резонанс с ним, добиваясь просто наибольшей громкости.

После настройки усилителя ПЧ нужно «вогнать в диапазон» частоту гетеродина. Здесь опять-таки задача решается очень просто, если есть генератор сигналов. Если его нет, то настройка ведется по станциям с помощью заранее изготовленной шкалы. При этом нужно знать частоты станций или пользоваться вторым настроенным (заводским) приемником, сверяясь всякий раз с его шкалой. Подгонку частоты гетеродина на высших частотах диапазона, то есть при минимальной емкости конденсатора настройки, производят с помощью подстроечного конденсатора (Р-178; 1), а на низших частотах диапазона подстройку ведут, перемещая сердечник контурной катушки. Эти операции стоит повторить три-четыре раза, добиваясь наиболее точного

совпадения частоты принимаемой станции с положением стрелки на шкале.

Наиболее сложная операция — это сопряжение, то есть согласование настройки, входного контура с контуром гетеродина (Т-224). На каждом диапазоне операцию эту выполняют на двух крайних частотах точного сопряжения (Р-178; 3), и при этом на средней частоте оно получается автоматически. При сопряжении контуров так же, как и при любых операциях настройки, можно ориентироваться на громкость звучания, но лучше, конечно, ориентироваться на индикатор выхода, роль которого может выполнять микроамперметр, включенный последовательно с нагрузкой детектора.

Т-300. Для проверки и налаживания схем необходимы спокойствие, рассудительность, смелость и уверенность в том, что все имеет свои причины. Что касается проверки и налаживания электронных схем, то здесь трудно давать рецепты на все случаи жизни, предусмотреть все возможные ошибки или отклонения от нормы. И все, что было сказано раньше о налаживании, это лишь «соображения по поводу» и общие рекомендации, которые еще нужно научиться применять «по месту». И все же к набору общих рекомендаций хочется добавить три-четыре еще более общих и именно поэтому важных и полезных.

Прежде всего не бойтесь. И не теряйтесь. Усилитель не усиливает? Приемник возбуждается? На коллектор транзистора не попадает «минус»? Ну и что? Все в итоге наладится. Просто где-то что-то сделано немного не так, и рано или поздно это будет обнаружено. Спокойствие и только спокойствие, как говорил Карлсон... Мы не в цирке, в электронных схемах чудес не бывает... Начнем разбираться...

Вторая общая рекомендация: действуйте методом исключений. Сначала последовательно, каскад за каскадом, просмотрите монтаж. Деталь за деталью, проводник за проводником... Подайте питание и опять-таки каскад за каскадом проверьте режимы. На коллекторе нет «минуса»? А над коллектором, в точке, куда подключена нагрузка? Здесь есть. Значит, обрыв в самой нагрузке. Или коллектор почему-то сидит на «земле», на общем проводе. Попробуем отключить от коллектора конденсатор связи с последующим каскадом. Вот и появился «минус», значит, на «земле» сидела цепь связи. Может быть, пробился сам переходной конденсатор? Проверим омметром. Так и есть — сопротивление нуль... Но почему это произошло? Все ясно, конденсатор был включен в неверной полярности. Заменим его и начнем сначала...

Теперь проверьте работоспособность каскадов, начиная с последнего. Скажем, в усилителе низкой частоты подайте сигнал (например, напряжение от трансляционной сети, но через резистор в несколько килоом и конденсатор большой емкости, рассчитанный на 30 *В*) сначала на базу последнего каскада, затем предпоследнего и так далее. Если ищете причину паразитного самовозбуждения, то попробуйте заняться фильтром одного каскада, затем второго, потом третьего... Представьте себе, что вы герой детективного романа — следователь, который распутывает сложное дело... И что распутать его возможно, только действуя спокойно и вдумчиво, обсуждая, проверяя и, если нужно, отбрасывая каждую версию. Нужно действовать методом исключений...

Третья рекомендация касается слова «вдумчиво». Налаживание электронных схем и тем более их совершенствование не есть какое-то оторванное от всего, самостоятельное дело, это просто применение имеющихся знаний к решению конкретных практических задач.

В одном популярном журнале в отделе «Иностранный юмор» была напечатана такая миниатюра. В авторемонтной мастерской водителю выписали счет на 100 марок за замену винтика. Водитель удивился: такая огромная сумма за какой-то винтик. «Сам винтик, — пояснил мастер, — стоит всего 2 марки, а 98 я взял за то, что знал, куда его поставить».

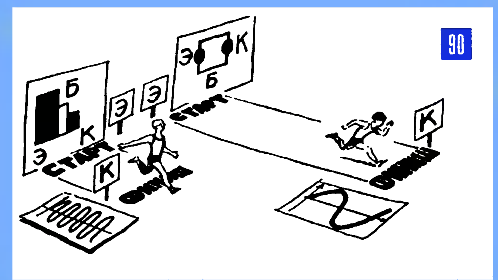
Можно встретить и другие варианты этой истории, но смысл рассказа не меняется — в общении с современной техникой особо важны знания.

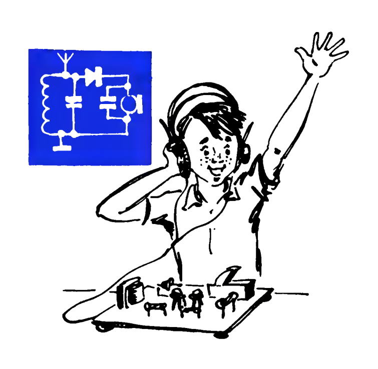
Это, конечно, касается и такого дела, как проверка и налаживание электронных схем. Можно часами безуспешно искать неисправность в схеме, если искать вслепую, «методом тыка». В то время как найти эту неисправность дело нескольких минут, если понимаешь процессы, которые в этой схеме происходят. (Приемник на длинных волнах работает нормально, а на средних — только в половине диапазона. Как это может быть? Прежде всего проверим, по всему ли диапазону генерирует гетеродин... Так и есть — в низкочастотной части средневолнового диапазона колебания срываются. Скорее всего, потому, что с уменьшением частоты ослабляется связь между катушками, нарушается условие связи. Попробуем немного сблизить катушки — контурную и обратной связи. Вот теперь генерация во всем диапазоне — и станции пошли.) Отсюда совет — занимаясь налаживанием той или иной схемы, постарайтесь вспомнить все, что знали о ней. И не стесняйтесь при этом лишний раз заглянуть в знакомую книгу.

И наконец, еще одна общая рекомендация.

Можно уменьшить общий объем работ по проверке и налаживанию, если применять интегральные схемы, о которых кое-что рассказано в следующей главе. Интегральные схемы — это целые схемные узлы и блоки: усилители, генераторы, триггеры, логические элементы — проверенные и испытанные, заключенные в единый корпус и не требующие уже никакого налаживания или настройки. Конструирование электронного аппарата на интегральных схемах часто сводится к тому, чтобы правильно выбрать и состыковать несколько таких блоков, что немного напоминает сборку жилых домов из готовых секций-квартир, сделанных на домостроительном комбинате. При этом, конечно, исчезают многие трудности, но одновременно, правда, исчезает особое удовольствие, которое испытываешь, собирая схему «по кирпичикам», налаживая ее и чувствуя, как буквально на глазах схема оживает.







ГЛАВА 21

ФАНТАСТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Т-301

Т-301. Электронные устройства и методы достигли высокого совершенства, с их помощью решается много разных задач в науке, технике, управлении производством. Электроника и космос. Медицинская электроника. Электронная автоматика. Электроника в астрономии. Электроника в химии, в сельском хозяйстве, в спорте. Электроника в металлургии, в авиации, в биологии... Электроника, электроника, электроника... В чем дело? Почему так часто слышим мы это слово? Мода? Увлечение прессы? Конечно же, нет: электроника честно заслужила свою славу, она давно уже стала незаменимым помощником человека в самых разных его делах и работах.

Популярность радиоэлектронных приборов, аппаратов и систем в огромной мере определили такие их достоинства, как высокое мастерство и доступность. Вот несколько цифр, показывающих, что́ умеет электроника, что́ стоит за словом «мастерство».

Радиоприемники систем космической связи улавливают сигналы мощностью около 10^{-22} *Вт*, это примерно то же самое, что, находясь в Москве, услышать писк комара, пролетающего где-то в районе Мурманска. Радиотехнические системы позволяют измерять расстояние порядка сотен тысяч километров с точностью до сантиметров или регистрировать перемещения, которые в миллион миллионов раз меньше размеров атома. Метод ядерного магнитного резонанса, в основе которого электронная аппаратура, позволяет определить массу интересных подробностей устройства отдельных молекул: для этого проводятся измерения резонансных явлений, во время которых на частотах в сотни мегагерц удается заметить изменения частоты на сотые доли герца. Радиоэлектроника помогает исследовать фрагменты далеких звезд, которые видны с Земли под углом в 0,00001 угловых секунд (если бы человек обладал такой остротой зрения, он видел бы рисовое зерно на расстоянии пятисот — шестисот километров).

А теперь несколько слов о том, насколько широко используется электронная аппаратура. Ежегодно в мире производится около ста миллионов приемников и пятидесяти миллионов телевизоров, в них используются десятки и сотни миллиардов радиодеталей — кинескопов, ламп, транзисторов, резисторов, конденсаторов, катушек, переключателей. Многими миллионами компьютеров оснащены сегодня ученые, инженеры, производственники, экономисты, одних только персональных вычислительных машин в мире ежегодно выпускается более десяти миллионов штук. В нашей стране приборов и средств автоматизации ежегодно выпускается примерно более чем на десять миллиардов рублей, выпускается более миллиона типов и номиналов

деталей для радио- и электронной аппаратуры, многие из этих деталей выпускаются миллионными тиражами.

Т-302. Важнейшие проблемы радиоэлектроники — уменьшение веса и объема аппаратуры, повышение ее надежности, автоматизация производства. Радиоэлектронная аппаратура непрерывно совершенствуется, берет на себя все более сложны функции и при этом часто сама сильно усложняется. Лет тридцать — сорок назад в очень сложном электронном аппарате могло быть несколько тысяч деталей, а современные аппараты, в частности вычислительные машины, содержат миллионы и десятки миллионов деталей. И если бы это были детали, какие выпускались лет тридцать назад,— электронные лампы, сравнительно большие резисторы и конденсаторы, то для размещения сложной электронной аппаратуры нужны были бы, наверное, огромные многоэтажные дома, она весила бы сотни тонн, потребляла тысячи киловатт электроэнергии. Вот лишь один из многих примеров: электронное оборудование большого современного самолета, если бы оно было собрано на лампах, весило бы столько, что самолет уже просто не мог бы подняться в воздух.

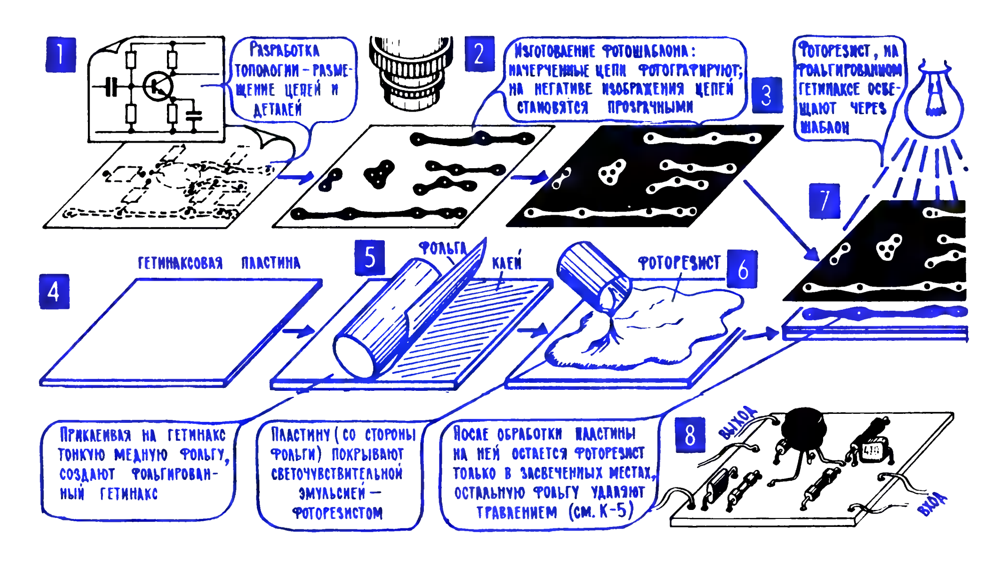
А вот другая проблема: по мере усложнения электронной аппаратуры резко снижается ее надежность. Как показала статистика, главная причина отказов, неисправностей — это соединительные цепи, соединения между элементами схемы; и чем больше элементов, тем чаще происходят отказы, меньше надежность. Это проблема огромной важности, особенно если учесть, что электронике доверяют такие важные дела, как, например, управление космическим кораблем или контроль за ритмами больного сердца.

Взволнованно повествует о проблеме надежности старинная английская баллада:

Выпал гвоздь — и нет подковы,
Нет подковы — нет копыта,
Нет копыта — нет коня,
Нет коня — и гибнет воин,
Гибнет воин — нету войска,
Нету войска — пало царство.
А виной один лишь гвоздь.

И наконец, третья важнейшая проблема: электронной аппаратуры нужно все больше и больше, аппаратура эта усложняется, и делать ее вручную уже просто невозможно. Если бы при нынешних масштабах применения электроники изготавливать ее по технологии тридцати- или сорокалетней давности, то в электронной и радиопромышленности, наверное, должно было бы работать все население страны. Здесь есть один только выход — автоматизация производства, создание такого оборудования, такой технологии, при которой основную работу делали бы машины, автоматы, а человек только следил бы за ними. Но можно ли автоматизировать такие чисто человеческие операции, как сборка электронных схем, пайка, монтаж, налаживание?

Применение интегральных схем — вот путь, двигаясь по которому можно одновременно решать все три проблемы: добиваться резкого уменьшения габаритов и веса аппаратуры, повышать ее надежность и автоматизировать производство. Интегральные схемы, или, как их часто называют, микросхемы,— это электронные блоки, плотность монтажа в которых в тысячи раз выше, чем в аппаратуре из дискретных элементов, то есть из отдельных деталей — резисторов, диодов, транзисторов и т. д. Сложный электронный блок, занимающий в традиционном исполнении целый шкаф, если его выполнить в виде интегральной схемы, может уместиться в тончайшем слое кремниевой



пластинки размером с копейку, а весить доли грамма. И надежность его будет очень высокой: у интегральной схемы совсем иной принцип соединения «деталей», они как бы слиты в единую электрическую цепь, представляют собой единую схему и единую монолитную конструкцию. Об этом напоминает само слово «интегральная», оно происходит от латинского «интегер», что означает «целый», «единый». Наконец, как это ни удивительно, но интегральные схемы по самой своей природе допускают автоматизацию производства: эти невидимые микроскопические электронные блоки могут изготавливаться без какого-либо прикосновения к ним человеческой руки.

Т-303. Интегральные микросхемы — революция в электронике. Первые интегральные схемы появились в 1958 году, но нельзя, конечно, считать, что микросхемы были созданы в один день — технология подошла к ним через многие другие свои достижения. В частности, через печатный монтаж — изготовление соединительных проводов методом фотолитографии (Р-179). Через методы вакуумного напыления различных покрытий, например веществ с высоким удельным сопротивлением для создания резисторов (К-3; 2). И конечно же, самое важное достижение, приблизившее электронику к интегральным схемам,— это создание в 1948 году транзисторов. Во-первых, появились действительно микроскопические усилительные приборы: сам транзистор, без корпуса,— это кристаллик размером с песчинку; электронную лампу таких размеров трудно себе представить. Но транзистор-песчинка — это далеко не предел, современные технологии позволяют делать транзисторы в тысячи раз меньших размеров. Более того — ученые и технологи научились создавать в полупроводниковом кристалле и другие элементы очень малых размеров. Так, например, *pn*-переход, если подать на него обратное постоянное напряжение (свободные заряды оттянуты от границы, между зонами *p* и *n* появился слой без свободных зарядов; Т-133), выполняет роль конденсатора. А вводя в полупроводник донорные или акцепторные примеси и дозируя их определенным образом, можно создавать в кристалле резисторы с самым разным сопротивлением.

Раньше других начали широко применяться так называемые гибридные интегральные схемы — в них значительная часть элементов образована раз-

личными тонкими пленками, а активные элементы — транзисторы и диоды — это бескорпусные приборы-песчинки, соединенные с пленками в нужных местах. В гибридной схеме из металлических пленок образованы соединительные проводники и обкладки конденсаторов, между этими обкладками находятся пленки диэлектрика, в виде тонких пленок выполнены резисторы (Р-180). Создаются эти пленки напылением тончайших слоев нужных материалов через своего рода трафареты — маски с фигурными окнами.

Постепенное совершенствование технологии позволило сделать следующий важный шаг — перейти к полупроводниковым интегральным схемам, где в одном кристалле создаются все элементы — транзисторы, резисторы, конденсаторы, соединительные цепи (Р-181). Существуют две основные группы полупроводниковых интегральных схем — с обычными биполярными транзисторами (это уже знакомые нам приборы с коллектором, базой и эмиттером) и униполярными, или, как их иначе называют, полевыми, транзисторами. Эти полупроводниковые приборы по принципу действия и особенно по некоторым характеристикам похожи на электронные лампы. Так, например, у полевых транзисторов, как и у ламп, высокое входное сопротивление, их управляющий электрод — он называется уже не базой, а затвором,— подобно сетке, влияет на ток «без касания», своим электрическим полем, и не имеет прямого контакта с эмиттером и коллектором — у полевого транзистора они называются, соответственно, истоком и стоком. На основе полевых (униполярных) транзисторов появился огромный класс интегральных схем типа МОП, что расшифровывается так: металл — окисел — полупроводник (окисел является диэлектриком, и поэтому МОП-структуры иногда называют МДП: металл — диэлектрик — полупроводник). Структуры МОП —основа большинства интегральных схем для вычислительной техники, и в то же время полевые МОП-транзисторы благодаря некоторым важным достоинствам, таким, например, как высокое входное сопротивление и низкий уровень шумов, выпускаются в виде отдельных усилительных приборов (С-15, К-18).

Знакомясь с конкретными интегральными схемами и их описанием в справочниках, кроме сокращений МДП и МОП, можно встретить и другие важные аббревиатуры, другие сокращения, такие, в частности, как ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика, ЭСЛ — эмиттерно-связанная логика, КМОП — комплиментарные (дополняющие) МОП-структуры, ДТЛ — диод-транзисторная логика. Мы не будем сейчас отвлекаться на эти подробности, а попробуем хотя бы в самых общих чертах познакомиться с существом дела — с устройством микросхем и технологией их изготовления.

Представим себе полупроводниковую интегральную схему, для начала не очень сложную. В тонкой пластинке кристаллического кремния создано несколько диодов и транзисторов — несколько микроскопических областей с примыкающими зонами *p-n*, *n-p-n* или *p-n-p*. Еще раз подчеркнем — все это образовано в едином кристалле, в определенные его микроучастки были введены необходимые примеси и таким образом созданы зоны *n* или *p*. Подобным же образом, путем введения различных примесей, созданы в кристалле микроскопические резисторы и конденсаторы. Теперь нужно как-то соединить эти разрозненные «детали», превратить их в электронную схему. Многие соединения, как уже говорилось, осуществляются внутри кристалла, отдельные «детали» просто примыкают друг к другу. Но многие соединения делаются снаружи в виде тончайшей паутинки напыленных проводов, чаще всего алюминиевых, а иногда серебряных.

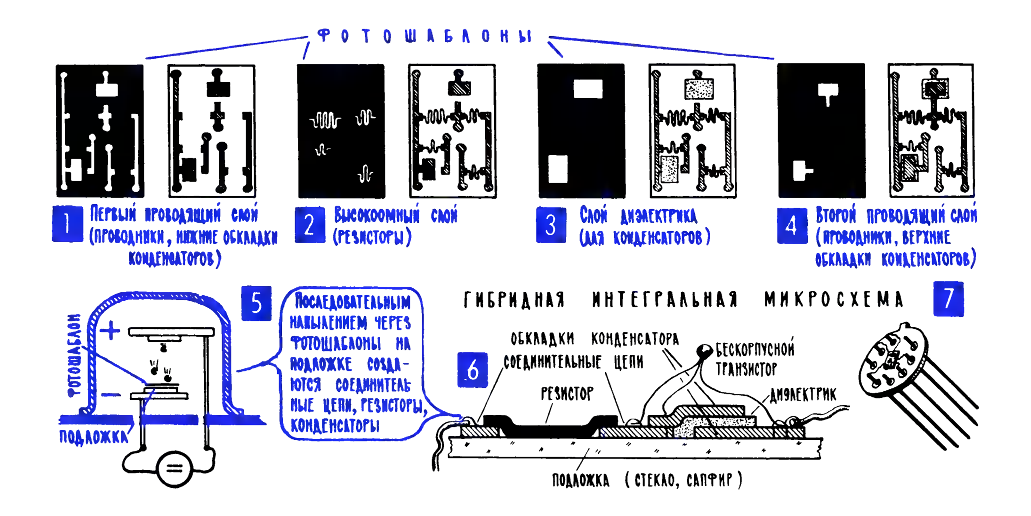
Расположение деталей — однослойное, так что интегральная схема обыч-

но уходит в глубь кристалла не больше чем на десятые доли миллиметра. Правда, в последнее время в технических журналах пишут о создании двух- и даже трехэтажных интегральных схем, но все это пока, видимо, лишь первые шаги. Зато в части уменьшения площади отдельных «деталей» имеются большие достижения. (Слово «детали» приходится брать в кавычки потому, что в интегральной схеме нет деталей в привычном смысле слова, нет того, что можно было бы извлечь из схемы или заменить; с учетом этого полупроводниковые интегральные схемы долгое время называли монолитными; транзисторы, диоды, конденсаторы, резисторы, созданные в интегральной схеме, называют ее элементами.) В первые годы массового выпуска полупроводниковых интегральных схем их «детали» в среднем имели размеры 0,08—0,1 *мм*, то есть 80—100 *мкм*. Несколько лет назад уже пришли к размерам 5—10 *мкм*, а сегодня типичный размер элемента — 3 *мкм*, 3 микрона! Чтобы такая трехмикронная деталь стала размером хотя бы с типографскую точку, нужно всю микросхему увеличить до размеров большой книги. И еще одна попытка пояснить, что такое элемент микросхемы размером 3 *мкм*. Если среднюю по размерам букву на этой странице заполнить такими трехмикронными элементами, то их на территории этой буквы уместится чуть ли не целый миллион. Конечно, эта цифра несколько превышает реальные возможности — многие детали нужно располагать на некотором расстоянии от других. Но даже с учетом этого плотность «монтажа» в современных БИСах, больших интегральных схемах (больших по количеству элементов), очень велика — в типичной кремниевой пластинке размером 5×5,2 *мм* (по размерам — это клеточка арифметической тетради) умещаются десятки тысяч элементов. А в СБИСах, сверхбольших схемах, число элементов исчисляется сотнями тысяч — по числу «деталей» такая схема эквивалентна нескольким сотням телевизоров.

Десятки и сотни телевизоров в клеточке арифметической тетради — действительно какая-то фантастика!

На рисунках Р-181 и Р-182 отмечены основные этапы создания интегральных схем. Здесь один из центральных процессов — фотолитография. В этот термин вошло слово «литография» (от греческих «лито» — «камень» и «графо» — «пишу»), название одного из старых способов печатания картин, где печатная форма создается на поверхности камня. Фотолитография (от греческого «фотос» — «свет») основана на использовании светочувствительного материала — фоторезиста (Р-179; 6, 7. К-5; 14—17). Им покрывают кремниевую пластину, на которой будет создаваться микросхема, и освещают эту пластину через фотошаблон, через узор на фотопленке, состоящий из прозрачных и черных участков. На фоторезисте в освещенных его участках появляется скрытое изображение, примерно такое же, как на фотопленке или фотобумаге. А затем следует процесс, напоминающий проявление: экспонированную (освещенную) пластинку кремния погружают в раствор, который удаляет фоторезист с освещенных участков — в слое фоторезиста, в тех его местах, куда фотошаблон пропускал свет, образуются окна, открывается доступ к кремнию. Теперь в эти окна можно ввести примеси и начать формирование транзисторов и других элементов микросхемы. Введение примеси чаще всего осуществляют за счет диффузии — кремниевую пластину помещают в вакуумную камеру, создают в этой камере пары нужной примеси, и эти пары на некоторую небольшую глубину проникают в пластину, но, разумеется, только в те ее участки, где в фоторезисте открыты окна. Несколько раз повторяя этот процесс с разными фотошаблонами и разными примесями, формируют в кремниевой пластине участки с разными

Р-180



физическими свойствами, и именно таким образом появляются все элементы микросхемы.

А вот две главные особенности использования фотолитографии в технологии интегральных схем.

Первое: можно изготовить довольно большой фотошаблон и, освещая кремниевую пластину через объектив, уменьшающий изображение (печатая снимки, вы пользуетесь фотоувеличителем, а здесь — фотоуменьшителем), создавать в фоторезисте окна микроскопических размеров.

Второе: при фотолитографии в кремниевой пластине одновременно формируется огромное количество «деталей», например по две зоны *p* для каждого из десяти тысяч *p-n-p* транзисторов, и в результате нескольких последовательных технологических операций сразу рождается микросхема из многих тысяч элементов. Более того, на одной кремниевой пластине одновременно создается несколько десятков микросхем, затем пластину разрезают и каждую микросхему устанавливают в отдельный корпус (Р-182). Все это можно сравнить с каким-то фантастическим станком, который, получив сырье в виде металла, резины и пластмассы, быстро выполняет несколько операций и сразу, как говорится, одним ударом, выдает несколько десятков полностью готовых автомобилей, собранных из многих тысяч деталей.

Т-304. Микроэлектроника, превратив в интегральную схему сложные и дорогие электронные устройства, сделала их доступными для широкого применения. Интегральные схемы — это малые габариты и малый вес огромных когда-то электронных установок, это высокая надежность аппаратуры. Но может быть, главное в том, что выпускаемые огромными тиражами интегральные схемы сделали сложные и совершенные электронные устройства во много раз более дешевыми и доступными — аппарат, который еще недавно стоил тысячи рублей, превратившись в интегральную схему, стал, грубо говоря, стоить рубль.

Возьмите, к примеру, электронные часы. Все, что они умеют,— точный отсчет времени, календарь, секундомер, будильник, а иногда еще и микрокалькулятор — обеспечивает одна интегральная схема, по числу деталей она эквивалентна нескольким телевизорам. Раньше, пожалуй, никто не рискнул бы использовать столь сложную систему в часах, так сказать, личного пользования. Не говоря уже о том, что мы не стали бы носить с собой электронные

часы, схема которых занимает целый чемодан. А вот, превратившись в микросхему, электроника часов занимает территорию все той же арифметической клеточки, она весит меньше грамма, а главное — миллионными тиражами выпускается на заводах-автоматах и по стоимости вполне конкурирует с механическими часами.

Другой пример — кнопочный телефонный аппарат. Слов нет, набирая нужный номер, гораздо удобнее нажимать кнопки, чем крутить телефонный диск. Но за это удобство приходится довольно дорого платить — кнопочному номеронабирателю нужна электронная схема из нескольких тысяч деталей. В этой схеме должен быть генератор сравнительно медленных импульсов, которые нужно послать в линию, сообщая о набранном номере (Т-111, Р-71); должна быть система ввода, при нажатии той или иной клавиши она сформирует сигнал из нужного числа импульсов; должна, наконец, быть память, так как вы можете нажимать кнопки очень быстро, а посылать импульсы в линию нужно в строго определенном темпе, не спеша. Поэтому набранный вами номер сразу же запоминается в триггерных ячейках и уже оттуда подается в линию. Кстати, появление памяти позволяет ввести в аппарат очень удобное приспособление и не повторять каждый раз набор занятого номера, а извлекать его из памяти, нажав кнопку «Повтор».

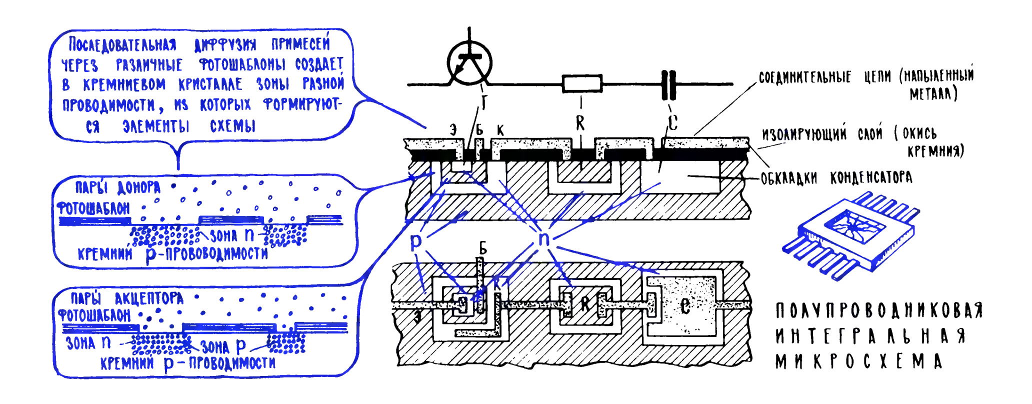
Кнопочный телефонный аппарат стал реальностью только после того, как вся его электроника, по числу деталей эквивалентная десятку приемников, превратилась в одну интегральную схему (отечественная МОП-схема К145ИК8П; вся серия К145 в основном предназначена для телефонных аппаратов разной сложности, в частности с разным количеством запоминаемых номеров).

Первые микросхемы представляли собой просто несколько транзисторов с простейшими связями, затем в кристалле начали появляться узлы сложных схем, а сейчас в одном кристалле размещают сами эти сложные схемы целиком или почти целиком. Так, например, в одной микросхеме почти целиком находится радиовещательный приемник (К-18; 14, 15), или транзисторная память, в которую можно записать целую книгу, или, наконец, процессор вычислительной машины (Т-277), как его называют после превращения в одну интегральную схему, микропроцессор.

Вот уже несколько лет, как микропроцессоры перестали быть собственностью одних только ЭВМ. Оставаясь первоклассным вычислителем или, точнее говоря, именно благодаря этому, микропроцессор стал универсальным управляющим устройством в системах автоматики. Перед установкой или в процессе работы микропроцессор можно запрограммировать на решение самых разных задач — от управления токарным станком, стиральной машиной или автомобильным карбюратором до выработки команд коррекции орбиты в бортовой автоматике космического аппарата. И хотя микропроцессор — это интегральная схема, в которой обычно несколько десятков тысяч элементов, стоимость его сравнительно невелика, и он становится самым активным, пожалуй, помощником человека в деле управления огромным миром работающей на нас техники.

Т-305. Прогресс радиоэлектроники связан с успехами фундаментальной науки. Полупроводниковый диод был известен давно, чуть ли не в начале века, а транзистор, как мы уже упоминали, появился в 1948 году, за его создание группа американских физиков — У. Шокли, У. Браттейн и Д. Бардин — была удостоена Нобелевской премии. Но вот что интересно: за много лет до этого, в 1922 году радиолюбитель из города на Волге — из Нижнего Новгорода девятнадцатилетний Олег Лосев создал первый в мире полупроводниковый

Р-181



усилитель, построил на его основе приемник и назвал его кристадин, от слова «кристалл». Причем это не было незамеченное или забытое потом изобретение — о кристадинах Лосева писала вся мировая радиотехническая печать, американские радиоинженеры в своем журнале назвали кристадин устройством, которое может совершить переворот в радиоэлектронике, вытеснить вакуумную усилительную лампу.

Такой переворот действительно произошел, но ждать его пришлось почти четверть века. Потому, что во времена кристадина физика еще не построила фундамент, на котором потом выросла полупроводниковая электроника. Только глубокие исследования физических процессов в твердом теле позволили в деталях понять, что же происходит в полупроводниках, и только на основе этого понимания развилась вся современная техника полупроводниковых приборов и интегральных схем.

А вот еще один интересный пример. В 1917 году Альберт Эйнштейн предсказал индуцированное излучение атомов и молекул, то есть вызванное внешней причиной, а конкретно — внешней электромагнитной волной. Но понадобилось почти сорок лет, чтобы это предсказание, соединившись с глубоким изучением механизмов перехода атомов с одного энергетического уровня на другой, то есть механизмов изменения запасов энергии атома, привело к рождению совершенно новой области науки и техники — квантовой электроники.

Когда атом или молекула переходят на более низкий энергетический уровень, то они отдают высвободившуюся энергию в виде кванта, порции электромагнитного излучения. При этом если выделяется большая порция энергии, то частота излучения высокая (малая длина волны) — излучается свет, ультрафиолетовые или еще более коротковолновые рентгеновские лучи. А если порция энергии невелика, если молекула выбрасывает слабый квант (Т-8), то частота излучения сравнительно низкая (большая длина волны) — молекула испускает инфракрасные лучи, миллиметровые или даже сантиметровые радиоволны. Можно извне подпитывать атомы излучающего вещества, накачивать их энергией, например пропуская через это вещество ток или освещая его мощной лампой. Можно ввести в систему достаточно сильную положительную обратную связь, грубо говоря, сделать так, чтобы излучение одних атомов возвращалось в излучающее вещество, заставляло излучать другие атомы. Такое индуцированное излучение и накачка энергией приведут к возникновению квантового генератора — атомы вещества будут согласованно излучать электромагнитные волны, причем одной, строго определенной частоты, она определится конкретным переходом излучающих атомов (молекул) с одного энергетического уровня на другой.

Первые квантовые генераторы были созданы советскими физиками, ныне академиками Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым и независимо американцем Ч. Таунсом — все они за эту работу отмечены Нобелевской премией. Первенцем в семействе приборов квантовой электроники был мазер (в этом сокращении буква «м» от слова «микроволны» — первый квантовый генератор работал в диапазоне сантиметровых радиоволн), а через несколько лет появились и оптические квантовые генераторы — лазеры (буква «л» от английского «лайт» — «свет»). К созданию реальных квантовых генераторов ученые пришли через глубокое изучение процессов взаимодействия излучения с веществом — они занимались радиолокацией, а затем радиоспектроскопией, исследованием состава вещества по частоте излучения его атомов и молекул.

Что должны продемонстрировать эти два примера человеку, начинающему свой путь в практическую электронику? Прежде всего то, что он приобщается не просто к интересной области технического любительства, а к области, вобравшей в себя многие замечательные достижения фундаментальной науки. Это должно радовать и предостерегать — в нынешней электронике трудно, видимо, случайно сделать что-то новое и интересное. В этой области творчески может работать только очень грамотный человек, глубоко понимающий существо дела.

Т-306. Интегральные схемы все более широко применяются в радиолюбительской практике. Уже давно в радиолюбительском журнале «Радио» одно за другим стали публиковаться описания самодельных приемников, магнитофонов, усилителей, телевизоров, в которые наряду с привычными деталями входят интегральные схемы. И сами интегральные схемы появились в широкой продаже, их начали широко применять в массовой аппаратуре — на приемниках, например, теперь можно увидеть надпись: «3 микросхемы» или «6 микросхем», подобно тому как раньше писали «12 радиоламп» или «8 транзисторов».

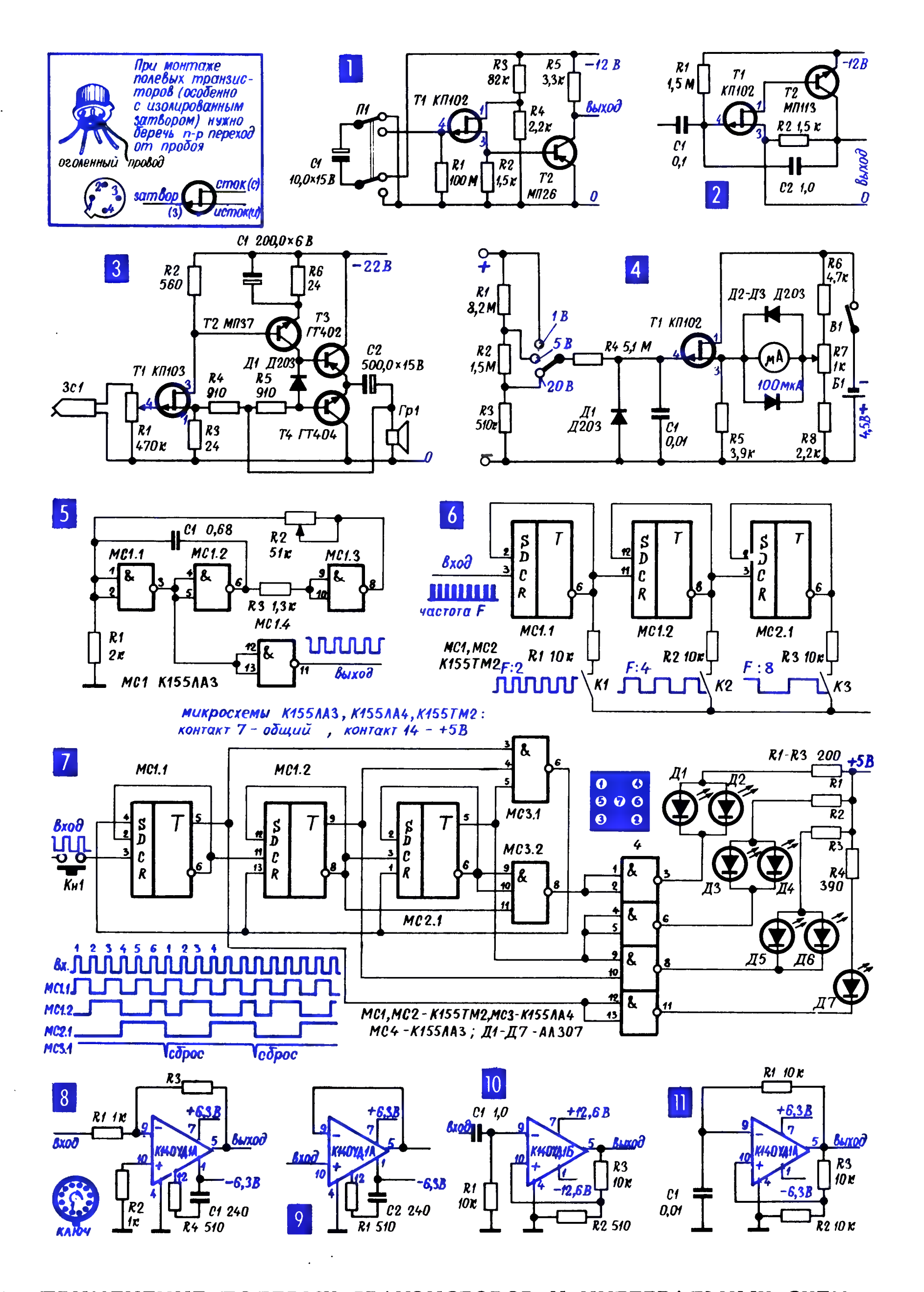
Т-306

Для тех, кто занимается практической электроникой, все это знаменует большую перемену — переход от схем, собранных из отдельных деталей, к схемам, собранным из крупных, зачастую законченных блоков. Событие это в какой-то мере можно сравнить с тем серьезным потрясением, которое пережила электроника, когда совершался переход от электронных ламп к полупроводниковым приборам.

В практической работе с микросхемами так же, как вообще в практической работе с электронными схемами, возможен такой путь: сначала повторение уже готовых, проверенных разработок, затем некоторые самостоятельные шаги, например замена рекомендуемой микросхемы другой, с близкими параметрами, или замена некоторых внешних деталей, например включение многоконтурного фильтра вместо одиночного контура. И наконец, после того, как появится «чувство микросхемы», а в памяти осядут их особенности и различия, открывается возможность самостоятельного творчества, создания собственных приборов и аппаратов или модернизации существующих.

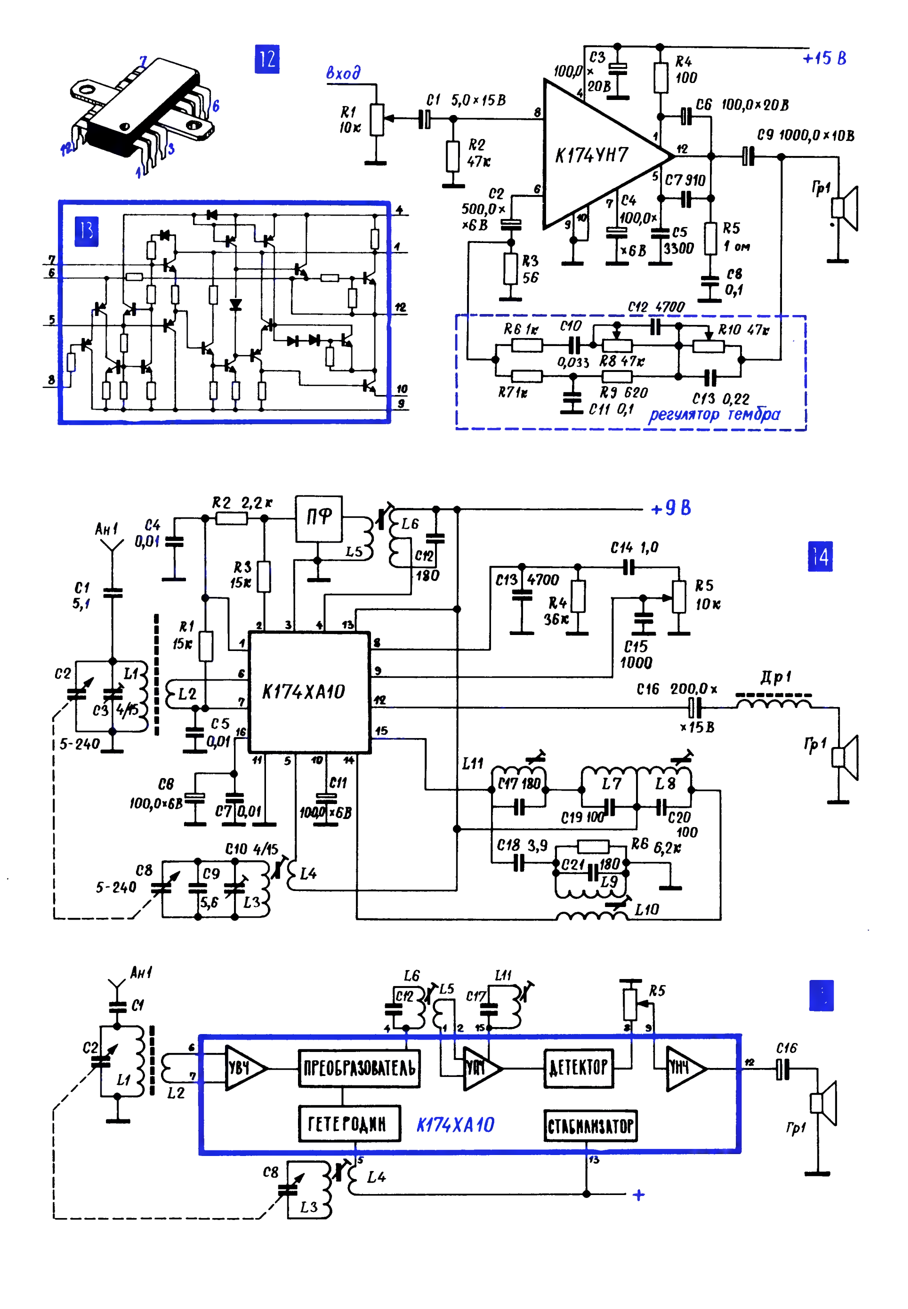
Сейчас будет названо несколько радиолюбительских конструкций на микросхемах, описанных в последние годы в журнале «Радио» и рассчитанных на самостоятельное изготовление в любительских условиях. В основном это конструкции достаточно простые и даже очень простые, многие прямо предназначаются для начинающих любителей. Но есть в нашем перечне и несколько весьма привлекательных сложных схем, за них можно браться, накопив хотя бы небольшой опыт в работе с микросхемами.

Конструкции в списке названы в порядке их появления в журнале: электронный блок, превращающий настольные электронные часы в музыкальный



К-18. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

1. Реле времени. С точки зрения разработчика схем, главная отличительная особенность полевых транзисторов — высокое входное сопротивление. В данном случае это позволяет включить на вход транзистора *RC*-цепочку с большим сопротивлением *R* — в обычном (биполярном) транзисторе это было бы бессмысленно, транзистор все равно зашунтировал бы большое сопротивление. В итоге при вполне реальном значении емкости, с полевым транзистором можно получить большую выдержку. В данном случае сопротивление времязадающей цепочки R1—100 мегом, а время выдержки — около получаса.



Отсчет времени начинается, когда П1 переводят в нижнее по схеме положение и С1, зарядившись ранее от питающего напряжения, начинает разряжаться через R1. «Минус», который подается на затвор с С1, запирает транзистор; он откроется после того, как конденсатор С1 разрядится. Открывшись, Т1 откроет и Т2 выходной сигнал, с которого можно подать на исполнительный механизм через электронное реле (К-19;7, К-20;3).

2. Ждущий мультивибратор. Благодаря полевому транзистору входное сопротивление схемы велико, она довольствуется очень слабым входным сигналом. Так же, как и в предыдущей схеме, легко получить очень большую длительность импульса или среднюю длительность при сравнительно малой емкости С2.

3. Усилитель для электрофона. Отличается от известных схем (К-8, К-13) тем, что полевой транзистор на входе обеспечивает высокое входное сопротивление, необходимое для каскада, к которому подключен пьезоэлектрический звукосниматель.

4. Высокоомный вольтметр. Главная особенность прибора — очень высокое входное сопротивление — около 12 *МОм*. Гальванометр (чувствительность 100 *мкА*, сопротивление рамки 1,87 *кОм*) включен в диагональ моста (Р-176), образованного резисторами R6, R7, R8 с одной стороны и резистором R5 и участком «исток» «сток» самого транзистора с другой стороны.

Перед измерением, замкнув входные провода, резистором R7 устанавливают стрелку на нуль. Диод Д1 защищает вход прибора от случайного «минуса» на входе. Диоды Д2, Д3 защищают гальванометр от перегрузки — это кремниевые диоды (С-14), и на участке «ступеньки» (Р-80) они мало влияют на ток через гальванометр, а при больших напряжениях берут почти весь ток на себя.

5. Генератор прямоугольных импульсов. Собран на одной микросхеме К155ЛА3, в которую входят четыре элемента 2И-НЕ, на схеме они, как это принято, показаны и пронумерованы отдельно — от МС1.1 до МС1.4. Логические элементы используются для поворота фазы на 180 градусов (это необходимо для самовозбуждения; Т-171) и для того, чтобы ослабить влияние выходной цепи на частоту и на режим генератора. Переменным резистором R2 можно менять частоту от 370 *Гц* до 25 *кГц*, этот диапазон можно сдвинуть (вплоть до 10 *МГц*) подбором емкости конденсатора С1. Напряжение питания — 5 *В*, «плюс» питания подается на 14-ю ножку микросхемы, а «минус» — на 7-ю ножку (общий провод, «земля»).

6. Делитель частоты. Может быть использован в блоке тембров электромузыкального инструмента, собран из трех триггеров, имеющихся в двух микросхемах К155ТМ2 (в каждой микросхеме по два триггера, и, таким образом, в данном случае один триггер остается неиспользованным). Схема делит частоту входного сигнала на 2, на 4 и на 8, полученные сигналы с пониженными частотами подмешиваются к основному сигналу. Тембр звучания изменяют подбором пропорции всех его составляющих, то есть практически подбором резисторов R1, R2, R3. Источником основного сигнала может служить генератор, собранный по предыдущей схеме (К-18;5). Напряжение питания (5 *В*) также подается «плюсом» на 14-ю ножку и «минусом» на 7-ю.

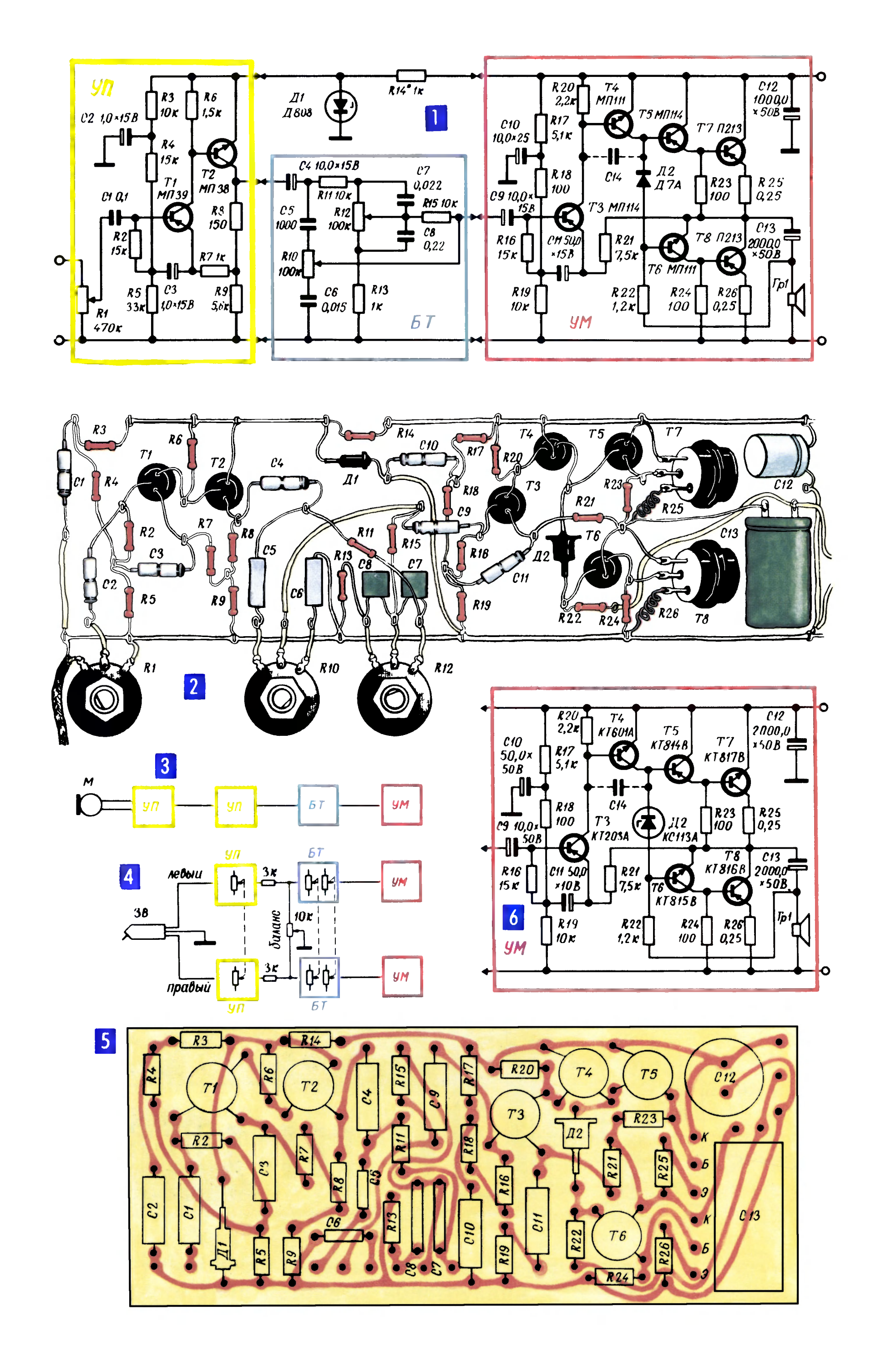
7. Схема, имитирующая выбрасывание кубика. Во многих детских играх очередной ход делают после выбрасывания кубика, на гранях которого имеется разное количество точек — от одной до шести. Тот же эффект дает предлагаемая схема: после нажатия на кнопку К1 она мгновенно зажигает разное количество светодиодов (Д1—Д7) — также от одного до шести. Повлиять на этот процесс практически невозможно — схема переключает группы светодиодов минимум сотни раз в секунду (источником переключающего сигнала предполагается генератор по схеме К-18;5) — и нельзя предугадать, на каком количестве зажженных светодиодов все остановится, когда вы отпустите кнопку,— отпустив кнопку, вы прекращаете подачу переключающих импульсов, и схема «замирает» в том состоянии, в котором она оказалась в момент разрыва входной цепи. В этой схеме, как и в предыдущей, три триггера, досчитав до 8-го импульса, они должны начинать счет сначала. Однако введенные в схему элементы логики (МС.1, МС3.1 и МС3.2) следят за состоянием всех триггеров и прерывают процесс раньше, начиная новый цикл после 6-го импульса. Другая логическая схема, тоже управляемая триггерами, в нужной последовательности включает светодиоды.

8, 9, 10, 11. Схемы на операционных усилителях. Интегральные схемы 140УД1А и К140УД1Б относятся к так называемым операционным усилителям. Они весьма универсальны, усиливают постоянный ток, переменные токи низких и высоких частот, импульсные сигналы, используются в генераторах, а также участвуют в ряде преобразований сигнала. Усилительные схемы на такой микросхеме делят на две основные группы — инвертирующие (то есть поворачивающие фазу, как, скажем, одиночный транзистор в схеме ОЭ) и неинвертирующие (как эмиттерный повторитель, схема ОК). Первая схема (8) — инвертирующий усилитель (сигнал подается на вывод 9). Резистор R3 — элемент отрицательной обратной связи, от соотношения R3 и R1 зависит общий коэффициент усиления $к$; в данном случае $к = 50$ на частотах до 2 *МГц* при слабом усиливаемом сигнале (*U*вых — до 0,1 *В*); при *U* вых = 1 *В* наибольшая частота снижается до 0,5 *МГц*. Цепочка R4, С1 — корректирующая, она предотвращает самовозбуждение усилителя.

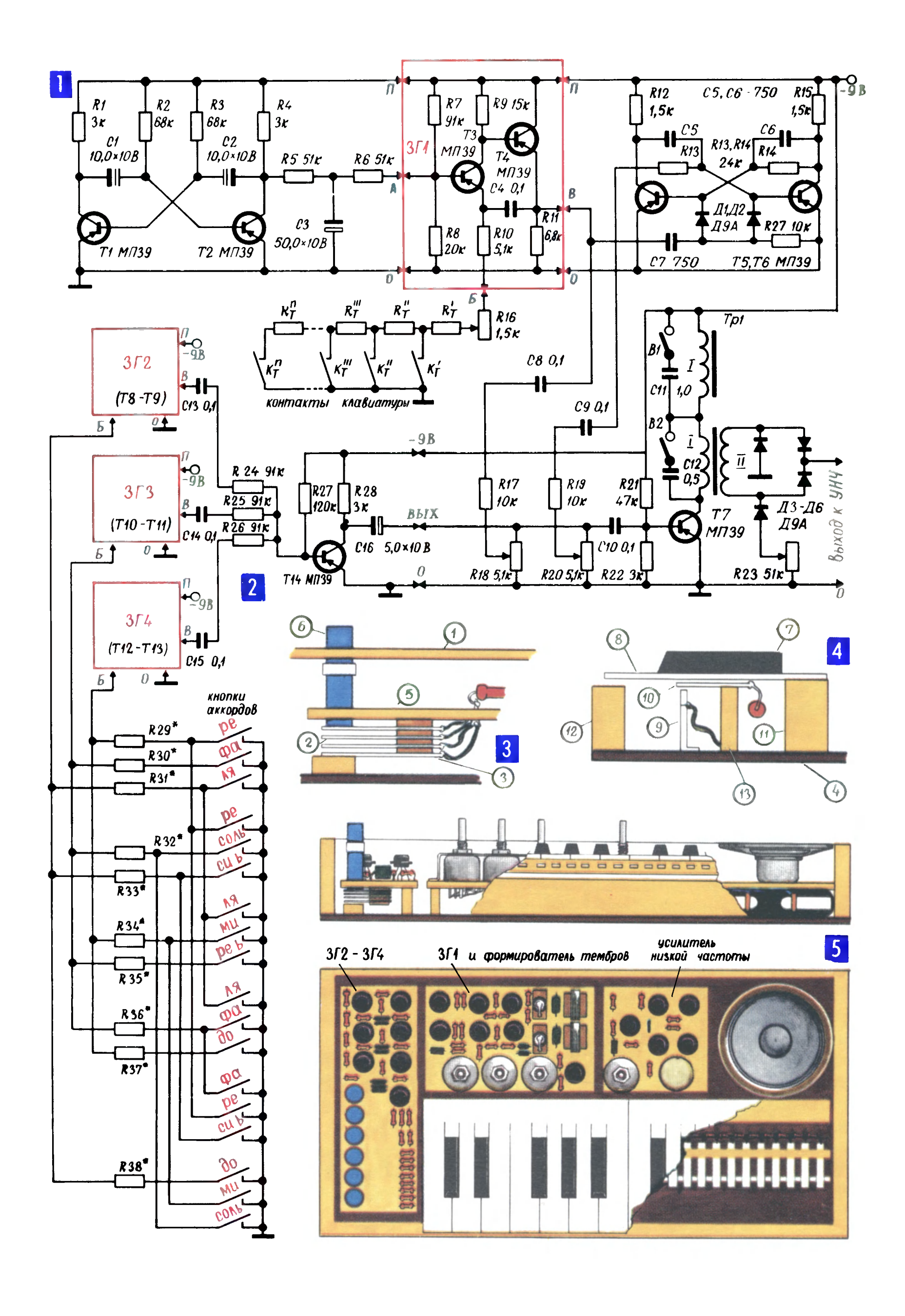
Вторая схема (9) — неинвертирующий усилитель (сигнал подается на вывод 10), он не усиливает напряжение, но имеет очень большое входное сопротивление (несколько мегом).

На операционном усилителе можно собрать устройство, аналогичное триггеру Шмитта (10); оно имеет два устойчивых состояния: одно при некотором пороговом «минусе» на входе, другое — при пороговом «плюсе». Если подать на вход плавно меняющееся переменное напряжение, например синусоиду, то на выходе получим прямоугольные импульсы.

Если в эту схему ввести частотнозависимую положительную обратную связь R1, С1, то получится генератор прямоугольных импульсов (11). Частота импульсов зависит от всех элементов, участвующих в создании обратной связи, в данном случае от R1, С1 (во сколько



К-13. **УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ (ЗВУКОВОЙ) ЧАСТОТЫ.** *Описание на с. 397.*



К-14. ЭЛЕКТРОННЫЙ ОРГАН. *Описание на с. 396.*

раз он больше, во столько раз ниже частота) и в меньшей степени от соотношения R3 : R2 (это соотношение можно выбрать в пределах 0,5—10; чем оно больше, тем ниже частота). Для указанных на схеме деталей получается частота около 2—3 *кГц*.

Нужно обратить внимание на то, что питающее напряжение состоит из двух «половинок» +6,3 *В* и —6,3 *В* (+12,6 *В* и —12,6 *В*), то есть питание фактически производится от двух источников, у одного из которых заземлен «плюс», а у другого — «минус».

12, 13. Усилитель низкой частоты на одной микросхеме. Все основные элементы усилителя входят в аналоговую микросхему К174УН7, вне ее («обвязка») находятся лишь цепи питания с развязывающими конденсаторами значительной емкости, регулятор громкости, регулятор тембра (обведены пунктирной линией) и цепи громкоговорителя. Частотная характеристика при неравномерности 3 *дБ* лежит в пределах 40—20 000 *Гц*, при сопротивлении звуковой катушки громкоговорителя 10 *Ом* усилитель развивает мощность до 4,5 *Вт* (с радиатором!).

14, 15. Супергетеродинный приемник на одной микросхеме. Упрощенная блок-схема (15) показывает, какие основные узлы и детали находятся в самой микросхеме (усилители высокой, промежуточной и низкой частоты, преобразователь частоты с гетеродином, детектор, стабилизатор питающего напряжения), а какие за ее пределами (колебательные контуры с конденсаторами настройки, фильтр промежуточной частоты, регулятор громкости). Приемник может работать на одном из трех радиовещательных диапазонов — ДВ, СВ или КВ. Данные катушек выбираются по аналогии со схемой К-8, дроссель Др1 содержит несколько витков любого тонкого провода, намотанного на любом небольшом ферритовом сердечнике. Усилитель низкой частоты приемника развивает мощность до 0,3 *Вт*.

будильник (журнал «Радио» № 2 за 1984 год); устройство, которое звуковыми сигналами имитирует бой часов (№ 2, 1984); электронный светофор для различных игрушек, макетов и тренажеров (№ 3, 1984); дистанционный переключатель (№ 3, 1984); малогабаритный прибор для налаживания и проверки телевизоров — генератор сетчатого поля (№ 4, 1984); будильник для электронных часов (№ 7, 1984); низкочастотный усилитель мощности (№ 8, 1984); прибор для имитации человеческого голоса — вокодер (№ 9, 1984); самодельная автоматическая телефонная станция на 10 номеров (№ 10, 1984); переключатель елочных гирлянд (№ 11, 1984); световой телефон на инфракрасных лучах (№ 12, 1984); термометр с цифровой шкалой отсчета температур (№ 1, 1985); вольтметр на операционном усилителе (№ 4, 1985); реле времени с большими интервалами отсчета (№ 4, 1985); игровой автомат (№ 5, 1985); электронный музыкальный синтезатор (№ 9 и 10, 1985); усилитель низкой (звуковой) частоты для малогабаритного радиоприемника (№ 10, 1985); электронные часы с кварцевым задающим генератором (№ 10, 1985); усилитель воспроизведения для кассетного магнитофона (№ 10, 1985); переключатели елочных гирлянд (№ 11, 1985); электронный автомат для подачи школьных звонков (на уроки и перемены) в соответствии с заданной программой (№ 11, 1985); генератор для проверки и налаживания цветных телевизоров (№ 11, 1985); простейшие измерительные приборы на микросхемах (№ 1, 1986); электронный кодовый замок (№ 1, 1986 и № 4, 1984); индикатор, устанавливаемый изнутри на входную дверь и показывающий, не остался ли включенным какой-либо осветительный, нагревательный или иной электроприбор (№ 2, 1986); генератор звуковой частоты (№ 2, 1986); емкостное реле (№ 2, 1988); электронный тир (№ 5, 1988); метроном (№ 5, 1988); электронная игра (№ 6, 1988); индикатор уровня сигнала (№ 12, 1988); автомат, управляющий освещением (№ 2, 1989); электронный звонок (№ 4, 1989).

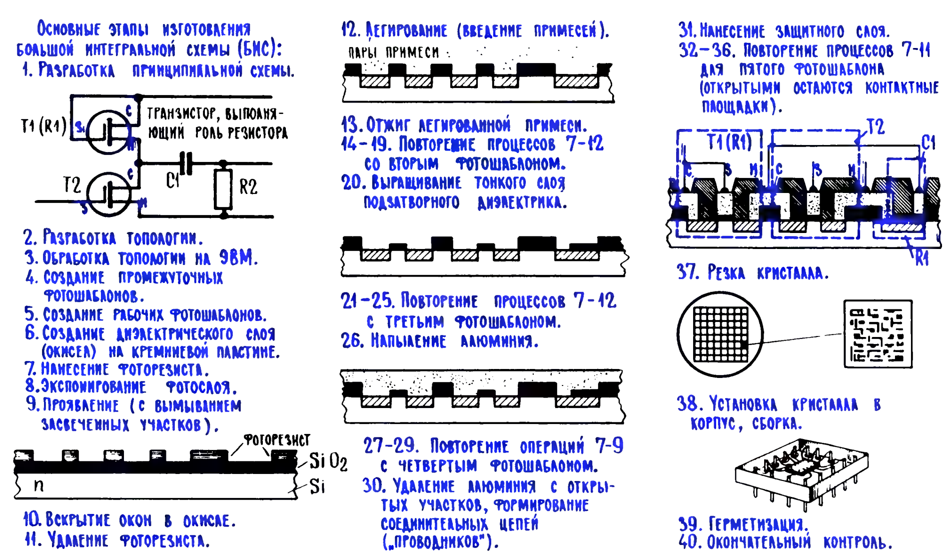
В этот список умышленно введено несколько очень простых и доступных для повторения чисто транзисторных конструкций, с тем чтобы желающий мог сам поискать пути перевода их на микросхемы.

Описания радиолюбительских схем и конструкций, в том числе на микросхемах, практически в каждом номере публикует и журнал «Моделист-кон-

структор». Вот некоторые из этих конструкций: электронная система для создания световых эффектов в дискотеке (журнал «Моделист-конструктор» № 2 за 1984 год); простой радиоприемник (№ 2, 1984); система светоуправления моделями и игрушками (№ 3, 1984); цифровая система радиоуправления (№ 11 и 12, 1984); электронный градусник (№ 6, 1984); дисторбер — формирователь тембра электрогитары (№ 5, 1984); музыкальная шкатулка (№ 1, 1985); прибор для проверки пульса (№ 3 и 4, 1985); металлоискатель (№ 8, 1985); электронный сторож для автомобиля (№ 9, 1985); комбинированный вольтметр (№ 10, 1985); дешифратор для управляемых моделей (№ 12, 1985); передатчик для управляемых моделей (№ 1 и 2, 1986); звуковое реле (№ 3, 1987); сенсорный переключатель (№ 3, 1988); светочувствительный музыкальный инструмент (№ 2, 1989); электронный регулятор освещения (№ 4, 1989).

Описание радиолюбительских схем и конструкций регулярно помещает и журнал «Юный техник». Среди них изредка встречаются конструкции с использованием микросхем (например, простой приемник для пионерского лагеря, «Юный техник» № 6 за 1985 год), но чаще всего в этом журнале можно увидеть простейшие транзисторные схемы, для которых (правда, накопив некоторый опыт) можно самому придумать аналог с использованием микросхемы.

Для знакомства с микросхемами на К-18 приведено несколько простых конструкций, а в С-16 — основные характеристики некоторых распространенных типов микросхем. В любительской работе важна такая неофициальная характеристика микросхем, как степень их законченности. Некоторые микросхемы, такие, например, как К2УС247,— это полностью укомплектованные блоки, к ним нужно лишь подвести питающее напряжение, подать сигнал на вход и снять с выхода. Часто встречаются микросхемы, укомплектованные не полностью, некоторые детали, например резисторы нагрузки в усилительных каскадах, нужно включать «снаружи». И наконец, как уже говорилось (Т-297), некоторые микросхемы — это наборы деталей, в частности наборы транзисторов, и их применение не имеет каких-либо существенных особенностей по сравнению с обычными дискретными приборами.



Т-307. Электронные устройства и методы радиоэлектроники с удивительной легкостью превращают в реальность самую смелую фантазию. Тридцать лет назад, когда был запущен первый в мире советский искусственный спутник Земли, в популярных журналах под рубрикой «Горизонты науки» начали появляться статьи о будущем союзе электроники и космической техники, в частности о том, как с помощью спутников можно будет перебрасывать ультракороткие волны на большие расстояния. Такая возможность тогда казалась делом далекого будущего; на первом спутнике стояла довольно простая радиоаппаратура: небольшой ламповый передатчик с простейшим манипулятором, который посылал в эфир непрерывную очередь радиоимпульсов, вошедшие в историю «бип-бип-бип...». Но вот прошло всего каких-то десять лет, и спутники «Молния» перебросили телевизионный мост из Москвы во Владивосток. А еще через несколько лет по системе космического телевидения «Орбита» через спутники связи цветные телепередачи пришли в сотни городов на Крайнем Севере, в Средней Азии, на Дальнем Востоке. Через спутники связи ведется обмен передачами между разными странами и континентами, из Монреаля программы попадают в Новгород, из Ташкента — на Кубу.

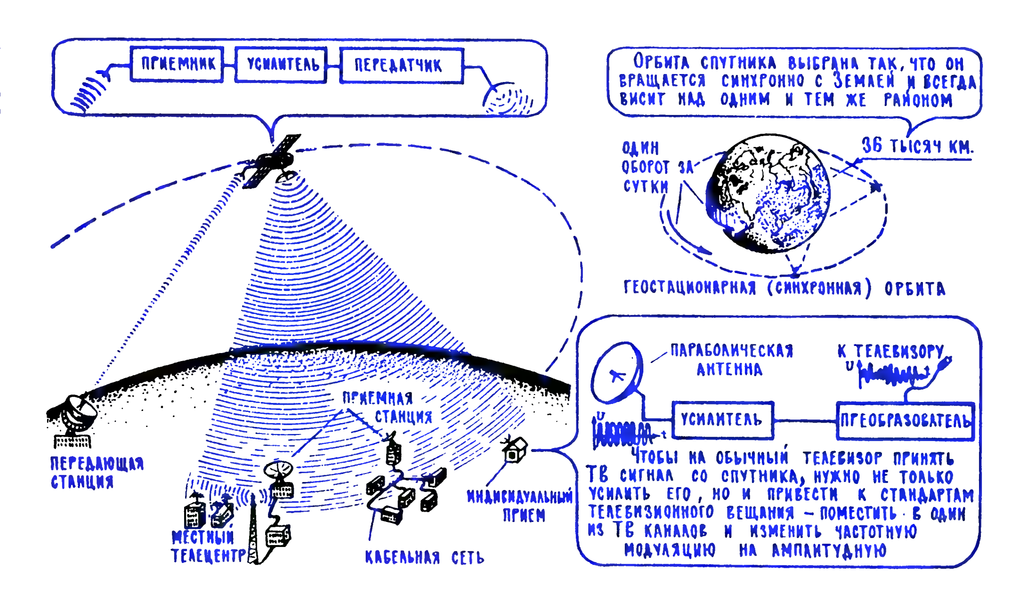
К таким спутникам связи, как «Молния», которая имеет сильно вытянутую эллиптическую орбиту и перебрасывает свой радиомост лишь в определенное время суток, сейчас прибавились постоянно действующие спутники-ретрансляторы, в частности наши «Горизонт» и «Экран». Они находятся на круговой стационарной (геосинхронной) орбите — на высоте примерно 36 000 километров. Спутник вместе с Землей совершает полный оборот за 24 часа в плоскости экватора и таким образом всегда висит над одним и тем же районом земного шара (Р-183). Так, в частности, «Экран» в любое время суток может раздавать московские телевизионные программы огромным территориям Сибири, Средней Азии и Казахстана.

Бортовая электронная аппаратура на спутниках и их бортовые электростанции все время совершенствуются. Это, в частности, позволило поднять мощность бортовых телевизионных передатчиков. А значит, к Земле приходит более сильный ТВ-сигнал и можно уменьшить наземные антенны, упростить приемники. Уже создана аппаратура для приема программ со спутника прямо на телевизор. Но конечно, для этого нужна специальная антенна («тарелка» диаметром 1—2 метра) и усилитель с преобразователем: он превращает сигнал со спутника (сантиметровые волны, частотная модуляция) в стандартный ТВ-сигнал (дециметровые или метровые волны, амплитудная модуляция. Р-148).

Многие миллионы людей в буквальном смысле слова своими глазами видят, как быстро прогрессирует телевизионная техника и расширяются масштабы ее использования. Прогресс телевидения напоминает: то, что в радиоэлектронике кажется далеким или даже фантастическим будущим, может довольно быстро стать реальностью.

Телевизионное вещание (это слово пришло от распространенного термина «радиовещание» и обозначает радио- и телевизионные передачи для широкого круга слушателей и зрителей) в нашей стране началось в 1931 году, примерно в то же время, что и в ряде других стран. Но это было совсем другое телевидение; наш нынешний телевизор, особенно цветной, в то время показался бы несбыточной мечтой. Развертка изображения, как на передающей стороне, так и в приемниках, осуществлялась вращающимся дырчатым диском (диск Нилкова); такая система, как всякая электромеханика, была сравнительно инерционной, и картинку практически удавалось разбить лишь

Р-183



на 30 строк, на 1200 элементов. При этом, конечно, изображение получалось несравненно менее четким, чем в современном электронном телевидении, где картинку разбивают на 625 строк, на полмиллиона элементов (Т-255; Т-256). О техническом уровне электромеханического телевидения тех лет говорит, в частности, то, что, добиваясь синхронизации картинки в приемнике, пальцем притормаживали вращающийся диск. Правда, из-за небольшого числа элементов растра спектр телевизионного сигнала получался довольно узким (Р-148; 6), передачи велись на средних волнах и их легко принимали на больших расстояниях.

Электронное телевидение в нашей стране вывели в эфир в 1937 году, но война прервала эти работы, и они возобновились, по сути дела с нуля, в первые послевоенные годы. Через десять лет были построены телепередатчики в 12 крупных городах, а телевизоров было так мало, они были такой редкостью, что большим событием считалось попасть «в гости на телевидение».

И вот наше телевизионное сегодня: в стране работают около 7 тысяч телевизионных передатчиков, в том числе сотни мощных; кабельные, радиорелейные, спутниковые линии связи объединили их в огромную телевизионную сеть; телепередачи можно смотреть на территории, где проживает 93 процента населения страны; в наших домах сейчас почти 100 миллионов телевизоров, в том числе 20 миллионов цветных.

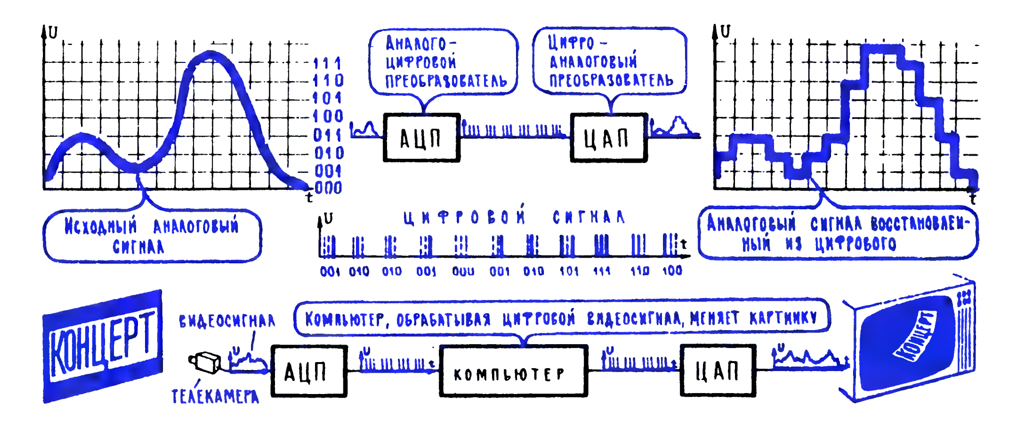
Но дело не только в количестве. Транзисторы, а затем интегральные схемы, вытеснив электронную лампу, позволили в несколько раз уменьшить мощность, потребляемую телевизором, он стал в несколько раз легче. В то же время экран стал намного больше — первые миллионы телевизоров имели экран размером (по диагонали) 18 и в лучшем случае 23 сантиметра, сегодня типичный размер экрана — 53, или 61, или даже 67 сантиметров. А специалисты уже говорят о домашнем телеэкране размером 2—3 метра, чуть ли не во всю стену комнаты. Правда, для того, чтобы получить качественную, четкую картинку на таком большом экране, нужно перейти на новый стандарт, имеющий 1000 или 1200, а может быть, еще больше строк. Уже есть реальные проекты и даже экспериментальные системы такого телевидения высокой четкости.

Другой путь резкого повышения качества картинки — переход на цифровое телевидение.

Т-308. Массовый переход на цифровые методы и системы знаменует новую страницу электроники. Лет тридцать — сорок назад, в эпоху электронных ламп и ручной сборки радиоаппаратов, их конструкторы стремились уменьшить число применяемых деталей, особенно ламп. В описании телевизора, например, как серьезное достижение отмечалось, что в нем на две лампы меньше, чем в предыдущей модели,— скажем, вместо восемнадцати всего шестнадцать. Это снижало и трудоемкость, и себестоимость аппарата, не говоря уже о потребляемой мощности. Совсем иная психология у разработчиков сегодня. В эпоху интегральных схем «одним ударом» создаются многие тысячи транзисторов, каждый из которых — эквивалент усилительной лампы. Сегодня разработчики электронных систем совершенно спокойно идут на применение сверхсложных, сверхмногоэлементных схем, так как вся эта сложность нередко умещается в нескольких микросхемах, на профессиональном жаргоне — в нескольких корпусах. Одно из следствий такого элементного изобилия — широкое применение цифровых систем вместо аналоговых или в помощь им. Т-308

Сигнал, который появляется на выходе микрофона, по сути дела, повторяет непрерывно меняющееся звуковое давление (Р-69), является его копией, аналогом (от греческого «аналогия» — «сходство»). С помощью так называемого аналого-цифрового преобразования, АЦП, аналоговый сигнал можно превратить в цифровой (Р-184). В этом случае АЦП очень часто одно за другим производит измерения аналогового сигнала (много тысяч измерений в секунду) и каждое его значение кодирует определенным двоичным числом, определенной комбинацией «единиц» и «нулей». Скажем, напряжение на выходе микрофона 2 *мВ* кодируется как 10011100, напряжение 2,1 *мВ* — как 10011101, напряжение 2,2 *мВ* — как 10011110 и т. д. Последовательность подобных кодов — это как раз и есть цифровой сигнал, точно отображающий все изменения аналогового сигнала. С помощью АЦП можно превратить в «цифру» любой аналоговый сигнал, например меняющееся напряжение на выходе магнитной головки, датчика температуры, звукоснимателя, видеосигнал, идущий от передающей телевизионной камеры.

Другое устройство — цифро-аналоговый преобразователь, ЦАП,— осуществляет обратный процесс, превращает цифровой код в определенное напряжение. Так, скажем, обнаружив на своем входе число 10011100, ЦАП даст на выходе напряжение 2 *мВ,* число 10011101—2,1 *мВ*, число



Р-184

10011110 — 2,2 *мВ* и т. д. А это значит, что ЦАП может из последовательности кодов, которую дал АЦП, восстановить исходный аналоговый сигнал.

Наверняка сразу же хочется спросить: а зачем это нужно? Зачем сначала в АЦП превращать аналоговый сигнал в «цифру», а затем в ЦАП делать обратное превращение и возвращаться на исходные позиции?

Такие преобразования, оказывается, могут дать очень много, в частности, высокую помехоустойчивость линий связи. Если к аналоговому сигналу добавится какая-нибудь помеха, то избавиться от нее очень трудно, чаще всего невозможно. На длинных линиях связи помехи постепенно накапливаются и могут совсем задавить полезный сигнал (Т-8). А вот очистить от помех импульсы и паузы цифрового сигнала — нетрудно. Делает это довольно простой электронный блок — регенератор, восстановитель, в основе которого может быть ждущий мультивибратор (Р-155; К-20). На вход регенератора может подаваться «цифра», сильно подпорченная помехами (Т-8), важно лишь, чтобы импульс отличался от паузы. По этой информации регенератор будет выдавать новенькие, неискаженные цифровые коды, готовые отправиться в дальнейшее путешествие.

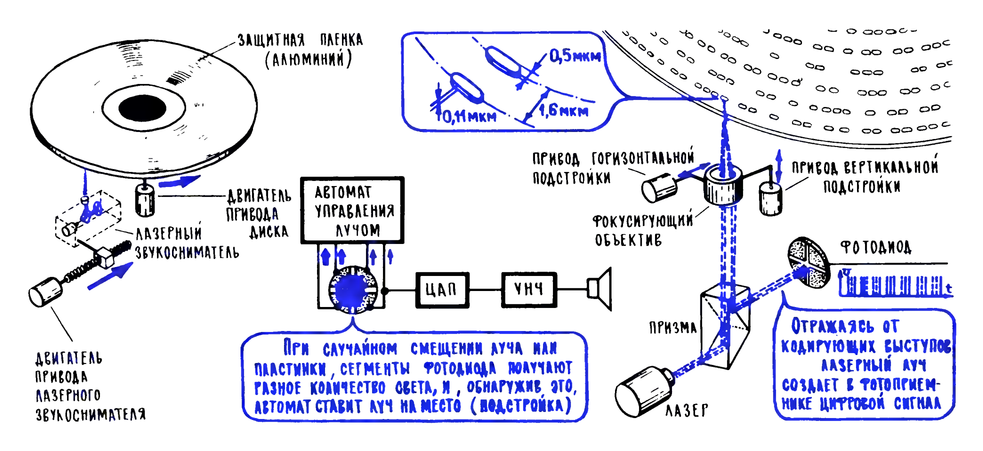
Цифровые системы уже широко применяются в телефонной связи и в звукозаписи — в мире выпущены миллионы цифровых лазерных проигрывателей, которые с исключительно высоким качеством звучания воспроизводят музыку с так называемых компакт-дисков. На этих пластмассовых пластинках с тончайшим металлическим покрытием имеются микронных размеров выступы, от которых лазерный луч отражается и попадает на фотодиод (Р-185). Если выступ есть, луч от него отразится, в цепи фотодиода пойдет ток и даст сигнал «1». Отсутствие выступа, а значит, отсутствие тока,— это «0». Каждый уровень аналогового сигнала кодируется двенадцати — четырнадцатиразрядным числом. Диск вращается, одно число следует за другим, и ЦАП воссоздает аналоговый сигнал — копию звука. Цифровой лазерный проигрыватель — система сложная. В нем, например, имеется макропроцессор, управляющий тонкой автоматикой, которая, в частности, заставляет лазерный луч точно двигаться по невидимой спирали, не отклоняясь от расположенных вдоль нее отражающих выступов.

На этом же принципе работает грозный конкурент видеомагнитофона — лазерный цифровой видеопроигрыватель. На одном его видеодиске может уместиться часовая телепрограмма или около 90 тысяч слайдов; автоматика позволяет мгновенно вызвать на экран любой из них. Существует лазерный (оптический) накопитель информации для компьютеров, на одном его диске может быть записана — разумеется, в цифровом виде — чуть ли не тысяча толстых книг.

Приходят цифровые системы и в телевидение. Если аналоговый сигнал, отображающий картинку, с помощью АЦП превращать в цифровой, а его по определенной программе мгновенно обрабатывать в компьютере, то можно получать совершенно новое изображение (Р-184). Так, в частности, на экране телевизора появляются хорошо всем знакомые убегающие или переворачивающиеся надписи — их создают на телецентре путем компьютерной обработки цифрового сигнала.

В последние годы цифровые системы появились даже в телевизорах и видеомагнитофонах, о чем свидетельствует надпись digital — «цифровой». В этих случаях в каждом телевизоре есть свои АЦП и ЦАП, микросхемы в цифровом виде запоминают видеосигнал (обычно небольшую его часть, соответствующую одной строке), обрабатывают «цифру», превращают ее

Р-185



снова в аналоговый сигнал и возвращают на место. Определенная обработка «цифры» позволяет заметно улучшить качество изображения.

Широкое использование цифровых систем, переход на «цифру» прежде всего показывает, что щедрость микроэлектроники, доступность ее сложнейших интегральных схем открыла принципиально новые возможности создания совершенных радиоэлектронных систем.

Здесь, пожалуй, уместно вернуться на нашу основную дорогу, вернуться к прерванному рассказу о союзе радиоэлектронной и космической техники, который мы начали с упоминания о космических телевизионных ретрансляторах.

Т-309. Совершенство систем космической электроники напоминает о ее огромных возможностях в решении земных, житейских задач. Стационарные спутники работают и в международной системе связи судов со своими портами и друг с другом, она, например, дает возможность моряку откуда-нибудь из южной Атлантики позвонить по телефону к себе домой в Одессу или Марсель. Используются стационарные спутники и в системах навигации, позволяющих судам и самолетам определять свое местонахождение с точностью до километра. Заговорив о морях и океанах, нужно обязательно вспомнить спутниковые радиоэлектронные системы поиска потерпевших аварию судов и самолетов, совершивших вынужденную посадку. Радиотехническими средствами спутник засекает небольшой аварийный передатчик и очень точно определяет его координаты. С помощью спутников-спасателей, неустанно дежурящих на орбите, уже найдены и спасены тысячи попавших в беду людей. Начало этой благородной миссии космической электроники положил советский спутник «Космос-1383» международной системы КОСПАС-САРСАТ, обнаруживший безнадежно потерянных пилотов и пассажиров небольшого самолета, неудачно приземлившегося в труднодоступном горном районе Канады. Т-309

Еще совсем недавно только из фантастических романов можно было узнать, как звездолет совершает посадку на неизвестную планету. На Земле в Центре управления операторы видят на огромном экране далекие пейзажи, которые космический робот передает с планеты.

Сегодня эта фантастическая картина стала реальностью. В феврале 1965 года, всего через семь лет после запуска первого спутника, станция «Луна-9» совершила мягкую посадку на Луну, провела первую в мире прямую телевизионную передачу с лунной поверхности и показала нам, землянам, лунные ландшафты.

А потом еще один важный шаг — советские космические лаборатории-автоматы «Венера-9» и «Венера-10» вели телевизионный репортаж прямо с раскаленной поверхности Венеры (температура — около 500 °С). Причем передача шла через ретранслятор — со спускаемого аппарата на искусственный спутник, выведенный на эллиптическую орбиту вокруг Венеры, а с него, уже более мощным передатчиком, на Землю. Потом на Земле были получены цветные марсианские пейзажи, переданные американскими станциями «Викинг-1» и «Викинг-2», и цветные ландшафты Венеры, их передали наши станции «Венера-13» и «Венера-14». А наши станции «Венера-15» и «Венера-16» выполнили совсем уже уникальную работу, показав с высоты поверхность Венеры, навсегда, казалось бы, скрытую густыми облаками. Рассмотрела венерианские горы и кратеры уже не телекамера, а бортовые радиолокационные системы, объединенные с мощными вычислительными машинами. Еще один смелый эксперимент начался в декабре 1984 года, когда мощные ракеты вывели на далекую космическую трассу две межпланетные станции «ВЕГА-1» и «ВЕГА-2». В июне 1985 года каждая из этих станций, добравшись до Венеры, отправила на планету свой спускаемый аппарат, который не только совершил посадку на венерианскую поверхность, но еще и выпустил в венерианское небо небольшой аэростат, снабженный научными приборами и собственным радиопередатчиком. А вторая часть станций «ВЕГА» — их пролетные аппараты отправились в новое многомесячное путешествие для встречи с кометой Галлея (само название «ВЕГА» расшифровывается как «Венера — Галлей»), с тем чтобы попытаться войти в ее газообразную оболочку (ко́му) и передать оттуда телевизионное изображение ядра кометы.

В марте 1986 года этот начатый и организованный советскими учеными международный эксперимент был успешно завершен. Через полтора года после старта с космодрома Байконур станции «ВЕГА» с фантастической точностью подошли к комете и встретились с этим микроскопическим по масштабам космоса объектом: размеры ядра кометы — примерно 10 *км,* для радиоэлектронных систем управления и наведения космического аппарата, систем измерения и расчета его траектории эта мишень в миллион раз меньше (по площади), чем Венера или Марс. До предела насыщенные электроникой бортовые научные приборы передали на Землю по радиоканалам массу бесценной информации, в том числе полученный с близкого расстояния телевизионный портрет кометы Галлея. Конечно, не всегда все проходит столь успешно — космические аппараты уходят за много миллионов километров от Земли и туда ремонтную бригаду не пошлешь. Недавно, например, оказался в значительной мере невыполненным международный проект «Фобос». Два аппарата должны были выйти в район Марса, а затем поочередно пройти над его спутником Фобосом на высоте примерно 50 метров, передать детальные снимки его поверхности и «высадить» на Фобос «десант», научные приборы. Однако (видимо, из-за каких-то неполадок сложных бортовых систем) к Марсу пришел лишь один аппарат, а сближение с Фобосом вообще не состоялось.

Попутно нужно, наверное, отметить, что роль радиоэлектроники в освоении космоса отнюдь не ограничивается телевидением и связью. Радиоэлектроника точно выводит космический корабль на нужную траекторию; определяет скорость и местонахождение этой песчинки на расстояниях в десятки миллионов километров от Земли; управляет работой бортовых систем; рассчитывает режим коррекции и следит, чтобы он выполнялся с высокой точностью; участвует в переводе корабля на орбиту спутника далекой планеты; непрерывно измеряет расстояние до ее поверхности и, в нужный момент

включив тормозные двигатели, обеспечивает мягкую посадку спускаемого аппарата... Словом, на всем пути от самого старта выполняет многие тысячи сложных и ответственных операций, превращая в реальность космический полет, эту еще недавно совершеннейшую фантастику.

Т-310. Познакомившись с краткой историей этой книги, читатель легче поймет назначение следующего раздела и некоторых предыдущих. С опозданием дополняя предисловие, автор хотел бы сообщить, что эта книжка начиналась в 1957 году с опубликованной в журнале «Радио» серии статей под общим названием «Шаг за шагом. От детекторного приемника до супергетеродина». Статьи были рассчитаны на начинающего радиолюбителя и предлагали ему самому собрать самый простой детекторный приемник (антенна, заземление, наушники, подключенный параллельно им точечный диод — и все!) и постепенно пройти путь до вполне приличного трехдиапазонного пятилампового супергетеродина (Т-219), тоже, разумеется, самодельного. Серия статей «Шаг за шагом» объединяла практические работы с изучением основ радиоэлектроники так, что к концу читатель получал небольшой комплекс фундаментальных знаний и вместе с ним возможность дальнейшей самостоятельной работы.

Судя по многочисленным письмам читателей, выбранная стратегия пришлась им по вкусу и в 1963 году, взяв за основу упомянутую серию статей, заметно ее расширив и дополнив небольшой порцией электротехники, автор выпустил довольно толстую (более 300 страниц) книгу с тем же названием. Вслед за ней, буквально через два года, появилась книга «Шаг за шагом. Усилители и радиоузлы», в основном посвященная звуку, музыке, акустическим системам и ламповым усилителям. А еще через три года в том же издательстве «Детская литература» вышла третья книжка — «Шаг за шагом. Транзисторы», о которой хочется сказать особо.

Книжка появилась в очень непростое время, когда шла перестройка самого фундамента радиотехники и электроники. Где-то в начале пятидесятых годов появились первые серийные полупроводниковые триоды (транзисторы), они довольно быстро показали свои достоинства и начали энергично вытеснять электронную лампу (Т-152). При этом нужно заметить, что электронная лампа (тогда обычно говорили «радиолампа») была не просто какой-то радиодеталью, она была основой всей схемотехники, всего многообразия усилителей и генераторов, основой всех приемников, передатчиков, телевизоров, электронных автоматов и только что появившихся вычислительных машин. Ламповая радиоэлектроника опиралась на мощнейшую, годами создававшуюся специально для нее теоретическую базу. За сорок лет своего быстрого прогресса ламповые схемы и сами электронные лампы достигли очень высокого совершенства, сформировав целый мир новой техники, который, казалось, будет процветать вечно.

Транзисторы, прежде всего, закрепились в небольших переносных радиоприемниках, там, где были особо заметны достоинства полупроводникового усилителя: экономное потребление энергии и низкое питающее напряжение. Переносному ламповому приемнику требовались две батареи: накальная — обычно с напряжением 1,4 вольта и анодная — с напряжением как минимум 30—40 вольт. Такому же транзисторному приемнику достаточно было одной батареи с напряжением 6—9 вольт, а позднее — 3 и даже 1,5 вольта. При этом двух батарей общим весом 200 граммов ламповому приемнику хватало на 5—6 часов непрерывной работы; одна батарея такого же веса могла 30, а то и 50 часов питать аналогичный по параметрам транзисторный приемник.

Какое-то время казалось, что электронные лампы отдадут транзисторам лишь малую часть своей процветающей империи: считалось невозможным создать срав-

нительно мощные транзисторы, а также транзисторы, работающие на достаточно высоких частотах — хотя бы в диапазоне коротких волн.

Но вот прошло ёще несколько лет, физики и технологи сконструировали принципиально новые типы транзисторов с прекрасными характеристиками, и ламповые схемы, не выдержав конкуренции, стали сдавать одну позицию за другой.

Это было время, так сказать, полупроводникового энтузиазма, но также время очень трудное для огромной армии инженеров, выросших в ламповую эпоху. Уже потом, вникнув в суть дела, мы сумели придумать для себя достаточно простые образы, модели и правила, столь необходимые человеку в практической работе (Т-138 — Т-141, Т-143, Т-144). А поначалу транзисторы пришли в наш инженерный мир в густом облаке математических уравнений, непривычных характеристик и множества непонятных параметров. Не знаю, как другим людям, привыкшим к электронной лампе, но автору этих строк в какой-то момент показалось, что нет никакой надежды пробиться сквозь непонятность транзисторных схем, и, как говорил известный герой, пришла пора переквалифицироваться в управдомы. Думается, многим в то трудное время очень помогла радиолюбительская школа, стремление для начала уйти от подробностей, выделить главное, создать для себя пусть упрощенную, но зато наглядную картину. Именно так удалось ухватить существо дела и сделать первые робкие шаги от лампы к транзистору. Ну, а там уже пошло...

Непростой переход от ламповых схем к транзисторным вспомнился потому, что сегодня в электронике происходит столь же серьезная ломка, а может быть, даже еще более серьезная. Это особо остро почувствовалось при подготовке нынешнего издания книги «Электроника шаг за шагом».

После книги о транзисторах автор решил не продолжать запланированную серию рассказов об отдельных направлениях радиолюбительской активности — о приемниках, телевидении, электронной автоматике, звукозаписи и других. Значительно удобнее было (прежде всего удобнее для читателя) собрать все это вместе, сделать общие разделы основ электротехники и электроники, снабдить общим справочным материалом, общими рекомендациями по электропитанию и налаживанию схем. Так появилась книга «Электроника шаг за шагом», первое издание которой вышло в 1979 году. Уже в этом издании была 21-я глава, специально выделенная для некоторых новых направлений и, в частности, для микросхем (Т-303). Они в то время начали появляться в серийных приемниках и телевизорах, но для большинства радиолюбителей микросхемы еще были недоступны.

Через несколько лет ситуация заметно изменилась, и во втором издании книги (1986 год) пришлось расширить 21-ю главу и ввести раздел К-18 с описанием конкретных устройств (приемники, усилители и другие) на интегральных схемах. Был также приведен список аналогичных устройств, детально описанных в журналах «Радио», «Юный техник», «Моделист-конструктор». Этот список был расширен в третьем издании книги (1991 год), и, кроме того, там было несколько более подробно рассказано о некоторых новых областях, в частности, о видеозаписи (Р-139), спутниковом телевидении (Р-189) и лазерных компакт-дисках (Р-183). Был отмечен и новый поворот в самой схемотехнической идеологии — переход на цифровые схемы и цифровые методы обработки сигналов (Т-308).

При подготовке нынешнего, четвертого по счету, издания подобные «местные» исправления и дополнения уже показались недостаточными. За последние годы в электронике появились совершенно новые направления, новые методы и аппараты, причем многие из них уже стали достоянием широкой публики и не вспомнить о них было бы просто неприлично.

Но даже ради столь важного дела ломать всю структуру книги пока не захотелось — она главным образом посвящена основам электротехники и электроники, которые остаются неизменными во все времена. Не хотелось убирать из книги и некоторые принципы и схемы (например, приемники прямого усиления или многоголосые электромузыкальные инструменты с раздельными генераторами и делителями частоты), которые в реальной аппаратуре теперь практически не встретишь. Дело в том, что схемы эти не потеряли своего, так сказать, учебного смысла и, кроме того, они все еще могут представить интерес для самостоятельного изготовления. На данном этапе показалось достаточным сделать следующее: ввести в 21-ю главу книги раздел Т-311, в котором имеется 128 небольших и очень небольших заметок о новинках радиоэлектроники. Некоторые из новинок, правда, появились не так чтобы вчера, но особое внимание привлекли в последние годы. Все заметки в разделе Т-311 пронумерованы и ссылка на них дается с указанием номера. Выглядит это, например, так: Т-311;1 (1-я заметка в разделе Т-311) или так: Т-311;65 (заметка 65 в разделе Т-311) и т. д.

Здесь самое место признаться, что, воспользовавшись моментом, автор включил в число дополнений несколько микрорассказов о важных областях радиотехники и электроники, существующих достаточно давно, но не попавших в предыдущие, чисто радиолюбительские, варианты этой книги. И еще одно признание — эту часть программы пришлось выполнить лишь отчасти, дабы объем книги не ушел слишком далеко за полтысячи страниц.

В разделе Т-311 к первоначально составленному списку тем все время что-то добавлялось, и чтобы это не продолжалось бесконечно, было решено в любом случае не превышать круглое число — 128. Тот, кто знакомился с компьютерами поймет, что это не опечатка и не шутка — при переводе в двоичную систему наше десятичное 128 записывается как двоичное $1000000 = 2^7$ и действительно смотрится как круглое число.

Хочется еще раз заметить, что в наш список из 128 отобранных тем не вошло многое из того, что хотелось в него включить. Но, думается, все выбранные темы, начиная с самой первой, касаются вещей важных и очень важных.

Т-311. В словаре создателей и пользователей радиоэлектронной аппаратуры появилось много новых слов, за каждым из них, как правило, стоит научная или техническая новинка. Для нашего времени вообще характерно обогащение повседневного словаря, причем часто это делается без предварительных пояснений, и рядовой человек не сразу понимает, что означает тот или иной термин. Так, «без предупреждения» с высоких трибун обрушились на нас **консенсус**, **адекватно**, **электорат**, не говоря уже о большом количестве научных и технических терминов. Немало слов принес с собой и прогресс радиоэлектроники. Многие из этих новых слов проиллюстрированы на прилавках магазинов, о некоторых же широкая публика имеет лишь смутное представление или вообще никакого. Попробуем хоть в какой-то мере поправить дело ультракороткими заметками о новинках электроники.

1. Плоский ТВ экран. Известную украинскую поговорку «Як мед, так ще й з ложкою» по смыслу можно перевести так: «Мало того, что тебе достался мед, так тебе еще и ложку подавай». Поговорка эта, разумеется с юморком, прекрасно отражает характерную особенность создания электронной аппаратуры (а скорее всего, не только электронной): получив какой-нибудь прекрасный результат, инженеры тут же начинают думать, а чтобы еще такого сделать, как бы еще улучшить свое творение — «Як мед, так ще й з ложкою».

Сконструировали карманный диктофон, так еще захотели ввести в него автомат, который включает питание только на то время, когда есть звук: нечего батареи зря расходовать, нечего тратить пленку на записывание пауз. Сделали телевидение общедоступным, так мало этого — еще цветную картинку захотели передавать. В телевидении можно найти много других иллюстраций к упомянутому «так ще й з ложкою».

Это, скажем, большой ТВ-экран (Т-311;4,5), стереоскопическое ТВ, телевидение высокой четкости (Т-311;6) и, конечно же, плоский ТВ экран.

Желание сделать телевизионный экран плоским вполне объяснимо: большая глубина «ящика» создает для владельца некоторые неудобства, телевизор занимает в квартире много места. Кое-что в этой части уже сделали конструкторы кинескопов: им удалось увеличить угол отклонения электронного луча с 70 до 90 и даже до 110 градусов, что, кстати, не так-то просто сделать, особенно в цветных кинескопах. Кинескоп стал намного короче, но до плоского экрана было еще очень далеко.

Одно из решений задачи — совершенно плоский экран, где каждая светящаяся точка имеет свой вывод, то есть экран как бы состоит из огмроного количества отдельных «лампочек» (Р-145). Быстродействующий коммутатор поочередно и в строго определенный момент подключает каждую такую «лампочку» к источнику видеосигнала. Фактически эти коммутаторы берут на себя обязанности электронного луча, который в кинескопе поочередно зажигал светящиеся (люминофорные) точки экрана (Т-254). Можно использовать и более простую систему подключения «лампочек» — так называемую матрицу из переключаемых вертикальных и горизонтальных проводников. Загорается лишь та «лампочка», которая оказывается на пересечении одновременно двух включенных линий — и вертикальной и горизонтальной.

Чтобы воспроизвести черно-белую картинку с принятой у нас четкостью 625 строк, на экране должно быть 625 x 830 = 520 000 «лампочек». Для них необходим горизонтальный коммутатор $П_г$ на 625 переключений и вертикальный $П_в$ на 833 переключения. В цветном каждая приведенная цифра должна быть, конечно, умножена на 3 — возможное цветовое многообразие какой-либо точки создают три ее лампочки, красная, синяя и зеленая. Технологии интегральных схем позволяют создать столь сложные системы и уже можно встретить небольшие плоские экраны в переносных компьютерах или телевизорах. Роль «лампочек» в них выполняют микроскопические светодиоды, газоразрядные или жидкокристаллические приборы (Т-311;94).

2. ПЗС: бригада пожарных цепочек (прибор с зарядовой связью). Еще лет двадцать назад полной победой завершилось наступление полупроводниковых приборов на электровакуумную технику. И лишь три-четыре крепости остались непокоренными, в их числе приемные телевизионные трубки (кинескопы) и передающие (иконоскопы, ортиконы и другие). В этих достаточно сложных электровакуумных приборах главное действующее лицо — электронный луч, быстро перемещаемый в пространстве электрическими или магнитными полями (Т-252). В передающей трубке он собирает информацию с множества микроскопических фотоэлементов, на которые направлена картинка (Т-251), а в кинескопе электронный луч наоборот — воссоздает картинку, поочередно зажигая на экране тысячи микроскопических люминофорных «лампочек» (Т-254).

Подобные процессы достаточно трудно воспроизвести не в вакуумном баллоне, а в твердом теле — в полупроводниковых кристаллах. Поэтому какое-то время казалось, что электронно-лучевые трубки навсегда останутся независимыми территориями в полупроводниковом царстве.

Ситуацию изменил совершенно новый метод считывания картинки и созданные на его основе приборы с зарядовой связью — ПЗС. Их главный агрегат — образованная в едином кристалле цепочка микроскопических фотоэлементов. Любой из них, получив от вспомогательного генератора считывающий импульс, выбрасывает в общую цепь (Т-8) порцию зарядов, накопившуюся под действием света — чем больше света падает на данный фотоэлемент, тем больше будет эта порция, тем большим будет считанный сигнал.

Устроен ПЗС так, что, выбросив свою порцию зарядов в общую цепь, фотоэлемент как бы отключается от нее и вместо себя включает одного из соседей (но только одного!), например, соседа справа. Теперь уже этот «сосед справа» под действием считывающего импульса выбросит в общую цепь свою порцию зарядов, то есть передаст информацию о своей освещенности. При следующем считывающем импульсе включится следующий «сосед справа», и в итоге по линейке слева направо пройдет волна считывания от первого фотоэлемента до последнего, после чего все повторится сначала. Поочередное считывание информации с фотоэлементов очень похоже на то, как на пожаре передают по цепочке ведра с водой и электронные системы, где какое-либо электрическое действие поочередно переходит от одного элемента к другому, так и называют — пожарными цепочками.

Можно изготовить и ПЗС-матрицу — пластинку из большого числа линеек с точечными фотоэлементами, где происходит поочередное считывание не только элементов в линейке, но и самих этих линеек. Таким

образом считывается целая картинка, направленная на ПЗС-матрицу, и этот небольшой, размером с почтовую марку полупроводниковый прибор делает то, что считалось вечной монополией передающей телевизионной трубки. Чтобы получить четкость в рамках нынешнего телевизионного стандарта, на ПЗС-матрице должно быть полмиллиона микроскопических фотоэлементов. Изготовить такой электронный глаз размером с почтовую марку можно только с помощью фотолитографии (Т-303, Т-310, Т-311;46).

Существуют ПЗС-матрицы и для считывания цветной картинки — в них тонкими технологическими методами вместо одного фотоэлемента создаются «тройки» фотоэлементов, каждый из которых как бы прикрыт цветным светофильтром и считывает только свой цвет — красный, синий или зеленый. Такая ПЗС-матрица с «тройками» фотоэлементов заменяет известную передающую систему с тремя сфетофильтрами и тремя отдельными матрицами (Р-150;1). Широко используются ПЗС-матрицы с особым внешним светофильтром, состоящим из множества цветных «троек», прикрывающих «тройки» светоприемников на самой матрице.

Приборы с зарядовой связью произвели переворот в телевизионной технике и, в частности, внесли решающий вклад в создание портативных и недорогих любительских видеокамер (Т-311;7).

3. Совместимость. Во многих случаях создателям радиоэлектронных новинок приходится думать о совместимости, о том, чтобы новинка пусть не в полной мере, но все же была бы доступной и тем, кто имеет аппаратуру предыдущего поколения. Это хорошо видно на примере цветного телевидения — для него были приняты такие стандарты, при которых и владельцы многих миллионов черно-белых телевизоров могли бы смотреть цветные передачи, но, конечно же, в черно-белом виде. Практически решение было таким: в сигнале цветного ТВ в основном записана черно-белая картинка. В нее врезаны два сигнала цветности, с их помощью цветной телевизор воссоздает многокрасочную картинку, а черно-белый их практически не замечает (Т-259). Другой пример совместимости — переход с формата видеозаписи Video-8 на более качественный формат Hi8 (Т-311;9). В пределах одного семейства персональных компьютеров новые все более совершенные их варианты совместимы с предыдущими (Т-311;114). Еще один пример совместимости: телевидение высокой четкости, в том числе и широкоэкранное, можно смотреть и на обычных телевизорах, но, разумеется, в пределах их технических возможностей — при обычной четкости. А на широкоэкранном телевизоре можно смотреть и обычные передачи — они просто займут часть экрана (среднюю).

4. Телевизор учится у кинопроектора (проекционный телевизор). Телевизор с размером экрана метр на полтора или побольше хорошо бы иметь даже дома, а уж в многоместном зале он просто необходим. Были опробованы разные принципы, из них наиболее широко используются два: проекционные системы и, если его так можно назвать, разрезной экран (Т-311;5). В первом случае используют специальные проекционные трубки с небольшим и очень ярким экраном. С них картинку (в цветном телевизоре три картинки) с помощью оптики, а иногда еще с участием зеркала направляют на обычный отражающий или работающий на просвет экран. Только яркость проекционных трубок ограничивает максимально возможный размер большого экрана: чем больше площадь, по которой «размазана» световая энергия, трубки, тем более блеклой и темной получается увеличенная картина.

5. Большой экран, составленный из маленьких экранов. Проблем с яркостью не будет, если большой экран составить из обычных кинескопов, смирившись с тем, что видна крупная сетка, образованная их рамками. Специальный электронный блок делит видеосигнал между кинескопами так, чтобы каждому досталась его часть картинки. На Всемирной выставке в Севилье в павильоне «Телекоммуникация» демонстрировался большой экран, составленный из 848 кинескопов. Там же можно было увидеть гигантский экран «Джамботрон» размером 16х12 метров, собранный из 230 тысяч специальных электрических лампочек, управляемых компьютерами.

6. В большом пироге должно быть много начинки (телевидение высокой четкости). Если сильно увеличить ТВ-экран, сделать его таким, как в кино, то сразу почувствуется недостаточная четкость картинки: в телевизионном кадре, как известно, 625 строк, а чтобы по четкости получить эквивалент кинокадра, нужно 2—3 тысячи строк, а то и все 5—10 тысяч. Не так давно для телевидения принят еще один стандарт четкости — 1150 строк, и кое-где уже идут передачи в этом стандарте. Одна из серьезных трудностей связана с тем, что, уве-

личив четкость в 2 раза, приходится выделять передатчику как минимум в 4 раза большую полосу частот (Т-257, Т-259). Для полной записи нынешнего телевизионного сигнала высокой четкости нужна полоса частот уже не 6,6, а около 25 мегагерц. Магнитная запись столь высоких частот сопряжена с очень большими трудностями, и на помощь здесь могут прийти цифровые методы (Т-308, Т-311;67) и сжатие спектра (Т-311;37).

7. Невозможное продается на каждом углу (любительская видеокамера). На самом деле аппарат, о котором пойдет речь, это нечто большее, чем съемочная видеокамера, и часто его называют особым именем — *камкордер*, оно происходит от слов *камера* и *рекордер*, то есть «записыватель». Видеокамера, строго говоря, лишь один из блоков камкордера (а), она своим объективом рассматривает (Т-8) какой-либо сюжет — эпизод футбольного матча, купание ребенка, полет птицы — и превращает наблюдаемую картину в видеосигнал. Одновременно занят своим делом второй основной блок камкордера — видеомагнитофон, он записывает полученный видеосигнал на магнитную пленку. Встроенный микрофон одновременно записывает на ту же пленку звук. Имеется в комкордере и монитор — микротелевизор, который служит видеоискателем (показывает то, что вы снимаете), а кроме того, позволяет сразу же просмотреть отснятый (то есть записанный на пленку) сюжет. Камкордер формирует стандартный цветной видеосигнал (обычно лишь в одной из систем — SEKAM, PAL или NTSC; Т-259) так, что отснятый материал можно просмотреть на телевизоре — на это любительская камера и рассчитана. В целом же камкордер — сложнейшая система с микропроцессорным управлением, совершенными электронными блоками, сложной оптикой и механикой. И если бы каких-нибудь тридцать — сорок лет назад профессионалу — телевизионщику сказали, что создана цветная видеокамера, которая вместе с записывающим видеомагнитофоном имеет размеры небольшой книги, то профессионал наверняка заметил бы: такое невозможно. Сегодня это невозможное выпускается миллионами экземпляров и продается на каждом шагу.

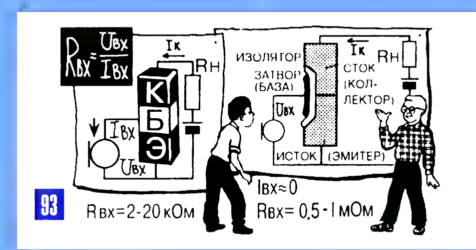
8. Принято в кино, принимается в телевидении (широкий экран). Высота ТВ экрана h составляет 75 процентов от его ширины b или, что то же самое — ширина b в 1,3 раза больше высоты h. Все это можно записать так: $h/b = 3/4 = 1{:}1{,}3$. Примерно такое соотношение сторон у обычного киноэкрана. Уже давно специалисты доказали, что кино, как зрелище, производит более сильное впечатление, если изменить пропорцию, сделать экран более широким. В результате появилось широкоэкранное кино с соотношением сторон экрана от $3/5 = 1{:}1{,}66$ до примерно $3/7 = 1{:}2{,}35$; в последнем случае экран получается очень вытянутым — его ширина в 2,35 раза больше его высоты. Похожее соотношение сторон экрана в широкоформатном кино — 1:2,2. Создатели систем телевидения высокой четкости, стремясь усилить эффект восприятия картинки, применяют кинескоп с соотношением сторон $h/b = 1{:}1{,}77$. Именно для этого соотношения на телецентре формируют широкоэкранную картинку, которую, естественно, переносит особый «широкоэкранный» видеосигнал. В ряде стран, в частности в Японии, уже ведутся регулярные широкоэкранные ТВ передачи. Но и там, где их еще нет, тоже покупают широкоэкранный телевизор и пока смотрят на нем широкоформатные видеофильмы. Уместно заметить, что это очень эффектное зрелище.

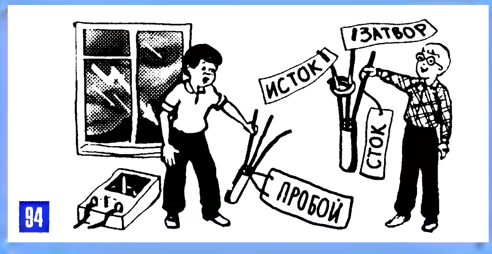
9. Формат видеозаписи. Слово «формат» мы чаще всего употребляем, когда речь идет о геометрических размерах (фотокарточки малого или большого формата, чертеж формата А3 и т. д.), но в последнее время слово это понимается более широко. Оно говорит о наборе тех или иных характеристик, принятых для какой-либо системы, например, для видеозаписи. В камкордерах запись сигнала может осуществляться в одном из пяти основных форматов — VHS, VHS-S, Video-8, Hi8, DVS. Некоторые профессиональные видеокамеры работают в формате Betamax, он обеспечивает очень высокое качество. Для каждого формата узаконены и строго соблюдаются важнейшие его характеристики: ширина пленки, скорость ее движения, скорость вращения БВГ (Т-238), угол наклона дорожек записи, их ширина и т. д. Существование узаконенных форматов гарантирует, что свою видеокассету вы сможете просмотреть на любом камкордере либо видеомагнитофоне, который рассчитан на данный формат.

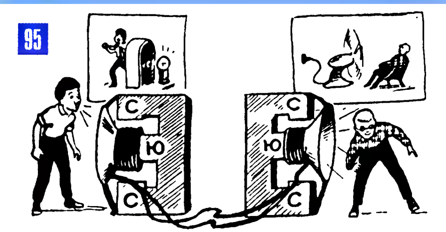
В первых двух форматах используется магнитная лента шириной 12,7 мм, такая же, как в видеомагнитофонах стандарта VHS (Video Home System — домашняя видеосистема; произносится «ви-эйч-эс», а иногда «ви-ха-эс»), и расположение магнитных дорожек на ленте точно такое же. В

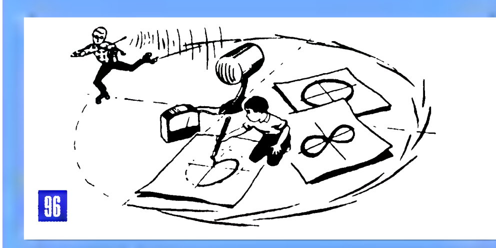

91
НИЗКАЯ ЧАСТОТА
МАЛАЯ МОЩНОСТЬ
СРЕДНЯЯ МОЩНОСТЬ
БОЛЬШАЯ МОЩНОСТЬ
ВЫСОКАЯ ЧАСТОТА
МАЛАЯ МОЩНОСТЬ
СРЕДНЯЯ МОЩНОСТЬ
БОЛЬШАЯ МОЩНОСТЬ


92
УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ Н.Ч.
ДВУХТАКТНЫЕ СХЕМЫ
УСИЛИТЕЛЬ Н.Ч
УСИЛИТЕЛИ Н.Ч.
СХЕМА ОЭ
СХЕМА ОБ
СХЕМА ОК


93
$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}}$
Iк
Rн
К
Б
Э
Iвх
Uвх
ИЗОЛЯТОР
ЗАТВОР (БАЗА)
Iк
Rн
СТОК (КОЛЛЕКТОР)
Uвх
ИСТОК
(ЭМИТЕР)
Iвх≈0
Rвх=2-20 кОм
Rвх= 0,5-1 МОм


94
ЗАТВОР
ИСТОК
СТОК
ПРОБОЙ


95
С
Ю
С
С
Ю
С


96


97
f
2f
3f
4f
СЛОЖНЫЙ СИГНАЛ
f
2f
3f
4f
ЧЕРНОЕ МОРЕ
СПЕКТР
f 2f 3f 4f


98


99

камкордерах используют кассеты сравнительно небольшого размера, но с помощью переходной кассеты запись формата VHS можно воспроизвести на обычном видеомагнитофоне. Формат VHS-S позволяет получить более высокую четкость картинки (Т-256) — до 450 строк (у VHS — до 250 строк), запись также ведется на пленку шириной 12,7 мм, но расположение дорожек иное. При этом форматы VHS и VHS-S совместимы лишь частично (Т-311;3): кассету — VHS можно воспроизвести на камкордере (или видеомагнитофоне) с форматом VHS-S (разумеется, четкость не превысит 250 строк), но нельзя поступить наоборот: кассету VHS-S нельзя воспроизвести на видеомагнитофоне или камкордере VHS. С учетом этого выпускается аппаратура, рассчитанная на оба формата с простым переключением с одного на другой.

В формате Video-8 и Hi8 используется пленка шириной 8,2 мм и четкость у них соответственно 250 и 450 строк. Эти два формата совместимы полностью. Обозначение Hi от английского слова High — высокий; имеется в виду сравнительно высокая четкость. Она, кстати, так же, как и в формате VHS-S, может быть получена лишь при записи на специальную ленту, которая находится в кассетах VHS-S и Hi8. Эти названия форматов крупно указаны на кассете (не перепутайте надпись Hi8 с HiPacking, которая говорит всего лишь о высоком качестве упаковки).

Отснятое на 8-миллиметровой пленке можно посмотреть на телевизоре, подключив его непосредственно к камкордеру, работающему в этот момент в режиме воспроизведения. А можно переписать фильм на обычную VHS кассету, попутно монтируя его и, в частности, убирая все лишнее. Всякая перезапись, однако, приводит к некоторому снижению качества картинки.

Особое место занимает формат DVS — Digital Video System (цифровая видеосистема). Здесь аналоговый видеосигнал превращают в цифровой (Р-184, Т-308), в таком виде его обрабатывают на микрокомпьютере, встроенном в камкордер, в цифровом виде записывают на магнитную ленту, а при воспроизведении записанный сигнал возвращают в аналоговую форму, необходимую телевизору для создания картинки. Обработка цифрового сигнала позволяет, в частности, заметно сжать спектр, а значит, снизить необходимую скорость записи (используется более узкая 6-миллиметровая пленка и более компактная кассета) и, несмотря на это, получить более высокую четкость: в формате DVS она почти такая же, как в профессиональных камерах — 500 строк.

10. Тромбон и флейта по заказу (синтезатор). Сначала в дорогих многоголосых электромузыкальных инструментах (Т-248), а затем в более простых и дешевых вместо классической схемы с большим числом генераторов и делителей частоты (К-12) начали использовать микропроцессорный синтезатор звука. Это некоторое подобие компьютера: в синтезаторе есть тактовый генератор, постоянное запоминающее устройство — ПЗУ, а нередко и оперативное — ОЗУ. При нажатии на определенную клавишу из ПЗУ извлекается код, соответствующий данной ноте (например, до третей октавы или си-бемоль четвертой и т. д.), и посылается в микропроцессор. По этому коду микропроцессор выполняет операцию деления на строго определенное число — он делит частоту тактового генератора (обычно 10—15 мегагерц) так, чтобы в итоге получилась частота, соответствующая нажатой клавише. Например, если частоту тактового генератора 10 МГц разделить на 11363,6 (а микропроцессор с этим справится без труда), то получится 880 герц, то есть «ля» второй октавы (К-12). Так с помощью операции деления из тактовой частоты получают все звуки музыкальной шкалы.

Одновременно из ПЗУ-2 на микропроцессор подается цифровой код, описывающий особенности выбранного тембра. В итоге из микропроцессора на цифро-аналоговый преобразователь ЦАП (Т-308) поступает не просто последовательность одиночных импульсов с частотой выбранного тона (например, 880 Герц), а следующие с этой частотой длинные «шифровки» — серии импульсов, в которых детально закодирована форма кривой, то есть тембр звука. По этому коду ЦАП выдает звук выбранного инструмента — скрипки, рояля, трубы, органа и т. п. Аналогично кодируется отбиваемый барабанами большой набор ритмических рисунков — вальс, марш, румба и т. п. Один из них может быть выбран из ПЗУ-3 и также с помощью микропроцессора и ЦАП превращен в звук. В отдельном ПЗУ-4 может храниться набор готовых мелодий, они автоматически исполняются в режиме «Демо» («Демонстрация»), когда нужно продемонстрировать звучание инструмента. В некоторых инструментах можно сочиненную или просто исполняемую мелодию сразу же записать в ОЗУ в цифровом виде, а затем извлечь ее оттуда и воспроизвести обычным способом — через микропроцессор и ЦАП.

11. Динамическая клавиатура. В некоторых современных синтезаторах можно встретить еще одну систему, которую очень ценят музыканты — динамическую клавиатуру. В этом случае клавиша замыкает не один контакт, а два — в начале и в конце своего перемещения. При сильном ударе оба эти замыкания быстро следуют одно за другим, при слабом — пауза между замыканиями заметно длиннее. В зависимости от этого несложная электронная схема меняет уровень выходного сигнала, и создается эффект, очень важный для пианиста — чем сильней удар по клавише, тем громче звук.

12. Тринитрон. Так инженеры фирмы «Сони» назвали свой цветной кинескоп. Одно из его достоинств — особая фокусирующая система, общая для всех трех электронных лучей (Т-259). Другая особенность — вместо дырчатой или щелевой маски (Р-150;4,5) используются вертикальные «струны», натянутые на массивной металлической раме. Получается своего рода щелевая маска (Р-150;5), где щели без перемычек идут от самого верха экрана до самого низа. Все это позволило сделать экран более плоским (а значит, на него вполне можно смотреть сбоку) и уменьшить потери энергии из-за затеняющего действия маски. Благодаря лучшей фокусировке удалось уменьшить ширину люминофорных полосок, а между ними пустить черные полоски. Они поглощают внешний свет, и экран тринитрона остается достаточно ярким даже при дневном освещении.

13. Спутниковое телевидение: покупай и смотри. К тому, что о нем уже было сказано (Т-307, Р-183) необходимо добавить, что к началу 1996 года на геостационарной орбите находилось более 120 спутников, осуществляющих телепередачи. Они висят над экватором в разных районах Земли — некоторые «видны» только в Америке, другие — в Восточной Азии и Австралии, много спутников над Европой. Как правило, каждый спутник передает несколько программ, а некоторые — несколько десятков. Программы разделяют на несколько стволов, каждый может передаваться отдельным передатчиком и (или) через отдельную антенну, часто направленную на определенный регион. Кроме того, две разные программы могут передаваться на одной частоте, но с разной поляризацией, грубо говоря, с разной ориентировкой в пространстве электрического поля радиоволны (Т-311;66). Чтобы перейти с одной из этих программ на другую, нужно повернуть или переключить один из элементов приемной антенны. Но для этого не нужно залезать на крышу — переключение осуществляется дистанционно с того места, где стоит телевизор. Точно так же дистанционно можно поворачивать антенну, направляя ее на разные спутники, если, конечно, у антенны есть система перемещения с дистанционно управляемым электроприводом. Очень часто антенну раз и навсегда направляют на один спутник или на группу спутников, расположенных в одном районе стационарной орбиты.

Телевизионные передачи со спутников ведутся в трех диапазонах: в районе 3 — 4 гигагерца (средняя длина волны).

Чтобы принять сигнал со спутника, нужны точно направленная антенна и тюнер. Это приемное устройство, которое настроится на сигнал нужного спутникового передатчика, выделит его, усилит и, главное, преобразует в обычный ТВ сигнал, который будет понятен стандартному телевизору (Р-183). От одного тюнера можно «кормить» несколько телевизоров, но все они, конечно, будут показывать одну и ту же программу. Многопрограммное спутниковое телевидение можно направить телезрителям через ретрансляторы (так, в частности, работает многопрограммная московская система «Космос ТВ») либо по кабельным сетям (Т-311;17).

14. Магнитная полоска — универсальный носитель информации. Напоминающая кусочек магнитофонной ленты, тонкая ферромагнитная полоска легко наносится на картонную или пластиковую карточку (например, методами напыления или печати) и превращает ее в железнодорожный билет, ключ к дверному замку или финансовый документ. На полоске так же, как в магнитофоне (изменением намагниченности разных ее участков; Т-231), записывают электрический сигнал, в котором, как правило, закодировано многоразрядное двоичное число. Считывающее устройство передаст этот код в блок сравнения, и, если код совпадет с тем, что хранится в памяти, пойдет команда на исполнительный механизм. Во многих странах билеты с магнитной полоской используются в метро, широко применяют магнитную полоску с кодом в гостиницах в качестве ключа к электромагнитному замку или для открывания ворот гаража.

15. Растущая популярность электронного рубля (кредитные карточки). Очень рас-

пространены пластиковые карточки с личным кодом на магнитной полоске: с их помощью выполняют различные финансовые операции, например, оплачивают покупки, разговоры по телефону или берут деньги из кассового автомата. Такой автомат связан с центральным компьютером банка, где хранит свои деньги владелец кредитной карточки, и, когда происходит платеж или получение денег, компьютер сразу же вносит изменения в текущий счет владельца. Рядовым явлением стали карточки с впечатанным в них микропроцессором и микросхемой памяти. Такая карточка сама производит ряд вычислений, например, учитывает стоимость уже оплаченных телефонных разговоров и сообщает владельцу (через индикатор телефонного аппарата), сколько на карточке осталось денег.

Там, где карточка участвует в операциях с заметными суммами, принимаются дополнительные меры безопасности. Так, чтобы посторонний человек, завладевший карточкой, не смог получить деньги из кассового автомата, нужно не только вставить в него карточку с кодом на магнитной полоске. Нужно еще, нажав определенные кнопки, сообщить автомату свой личный код (PIN — Personal Identification Number), а его должен знать только сам владелец карточки.

16. Коллективные ТВ антенны. На заре телевизионного вещания каждый телезритель устанавливал на крыше собственную антенну. Количество телевизоров росло, на крышах вырастали целые леса антенн и было решено ставить общие антенны — одну на весь подъезд. Сегодня и эта система уходит в прошлое, в больших городах, как правило, делают одну антенну на дом, на несколько домов или даже на целый микрорайон. От такой суперантенны телевизионный кабель, многократно разветвляясь, приходит в итоге в каждую квартиру. Чтобы все получали сигнал достаточной мощности, после антенны следуют групповые усилители, а часто еще и преобразователи частоты (Т-182). Они перемещают принятые с телецентра программы в более удобный для телезрителя частотный канал. В частности, программы из эфирных дециметровых каналов перемещают в метровый диапазон, что резко снижает ослабление сигнала на пути к телевизору. Так что переносной телевизор, настроенный при подключенной собственной антенне, возможно, придется перестраивать на другие каналы после включения его в общую антенную сеть.

17. Телезритель уходит из эфира (кабельное телевидение). Много лет шла жестокая война между сторонниками передачи телеграфных и телефонных сигналов по проводам и без них, с помощью радиоволн. И завершилась эта война всеобщим миром и братанием: телефонисты широко используют радиоканалы (Т-311;103), радисты — проводные линии связи. Один из примеров — кабельное телевидение. Промышленность сделала кабель надежным и недорогим, это уже почувствовали миллионы телезрителей — в широких масштабах стали развиваться большие и небольшие телевизионные кабельные системы. Для телезрителя кабельные программы привлекательны тем, что они, как правило, обеспечивают более высокое качество картинки, да и сами программы стараются подобрать поинтереснее — конкуренция. Организаторов телевизионного вещания кабель избавил от крайне сложной проблемы — от поисков свободного места в эфире (Т-311;41): в кабельную линию с легкостью можно вогнать десятки программ. А с переходом на световодные линии возможностей будет еще больше. В частности, предполагается использовать телевизионную световодную сеть для объединения персональных компьютеров (Т-311;93,95), которые уже в недалеком будущем появятся в каждом доме.

Нередко кабельное телевидение создается на основе достаточно разветвленных сетей подключения к коллективной ТВ антенне. В простейшем случае программы для кабельной сети формируются в небольшой местной студии, оборудованной несколькими видеомагнитофонами и аппаратурой для приема спутниковых ТВ программ.

18. Остерегайтесь, лихачи! (локационный измеритель скорости). Скорость движущегося объекта, например автомобиля, можно определить, используя эффект Доплера (Т-266) — частота отраженного радиосигнала зависит от направления и скорости движения. В измерителе скорости есть передатчик, приемник и антенна, которая быстро переключается с передачи на прием. Если объект приближается к вам, то частота отраженного сигнала больше исходной, набегающий объект как бы «сжимает» колебания. Когда же объект от вас удаляется, то частота становится меньше исходной, колебания «растягиваются». Чем выше скорость объекта, тем сильнее такое «сжатие» или «растягивание» колебаний, тем больше разница между частотами исходного и отраженного сигналов. Блок об-

работки сигналов по разности частот вычисляет скорость и выдает результат на цифровое табло. На некоторых участках дороги установлены автоматы, которые, измерив скорость и обнаружив нарушителя, фотографируют номерной знак его машины.

19. С бумаги на бумагу с помощью электричества (ксерокс). Этот аппарат (официально его называют устройством для ксерографического копирования), строго говоря, к электронике не относится, однако о нем нужно сказать несколько слов. Потому что, во-первых, ксерокс буквально напичкан электронной автоматикой и, во-вторых, он составной частью входит в такой шедевр электронной техники, как лазерный принтер.

Основа ксерокса — цилиндр, покрытый особым светочувствительным слоем, например селеном. На этот цилиндр с помощью оптики направляют изображение картинки, которую нужно скопировать. В той точке светочувствительного цилиндра, куда падает свет, накапливается электрический заряд, и чем ярче свет, тем сильней заряжается освещенная точка. Вращаясь, цилиндр соприкасается с графитовым порошком, он притягивается к участкам с электрическим зарядом, налипает на них — происходит что-то, очень похожее на притягивание кусочков бумаги к наэлектризованной гребенке или к стеклянной палочке (Т-13). Цилиндр продолжает вращаться, касается бумаги и переносит на нее графитовый порошок.

Слово «ксерокс» (по-английски xerox, произносится зирокс) — это название фирмы, которая вот уже полвека выпускает копировальную технику. Но само слово ксерокс греческое, в переводе оно означает «сухой», подчеркивая, что на бумагу наносится сухая краска (порошок) в отличие от «мокрой» типографской печати.

Внимательный читатель, возможно, обратил внимание на то, что светлая точка исходной картинки (оригинала) на светочувствительном цилиндре сильно электризуется, она притянет много порошка и поэтому пропечатается на бумаге черной точкой — на бумаге получится обратная, негативная копия оригинала. Так происходит лишь в нашем очень упрощенном описании, но не так уж и сложно, оказывается, электрическим способом сделать из негатива позитив. В реальном ксероксе светочувствительный цилиндр предварительно электризуют, затем в освещенных точках его электрический заряд уменьшается, они слабее притягивают порошок и создают на бумаге тоже светлые точки. Последняя операция: бумажный лист проходит через «печку» (мощный электронагреватель), частицы порошка сначала расплавляются, спекаются и прочно соединяются с бумагой. Без этого красящий порошок просто слетит с бумаги.

Есть ксероксы, точно копирующие цветную картинку. Здесь последовательно, через три цветных светофильтра (как в цветном телевидении; Т-259) создают на цилиндре три, как их называют, цветоделенные картинки, а затем поочередно печатают их на бумаге тремя цветными порошками.

20. Световой луч как исполнительный наборщик (лазерный принтер). На медленно вращающийся светочувствительный цилиндр (Т-311;19) можно нанести «электрическую картинку» лазерным лучом, быстро прочерчивая строку за строкой и изменяя интенсивность луча, подобно тому, как это делается в кинескопе (Т-254). А дальше происходит то же самое, что в ксероксе: заряженные точки цилиндра притягивают красящий порошок и картинки переносятся на бумагу. Завершает операцию термическое закрепление порошка. Острый лазерный луч может создать очень четкую картинку, поставив 24 или даже 48 точек на каждом миллиметре строки (600 или 1200 точек на дюйм). Управляет лучом компьютер, для которого лазерный принтер — устройство для вывода текстов, фотографий, рисунков. Кстати, значительная часть этой книги — страницы с текстом и рисунками были сначала выведены лазерным принтером именно в том виде, в каком они здесь предстали перед вами. Страницы были выведены на пленку и с нее пересены на печатные формы, с которых в типографии был напечатан весь тираж. Сейчас это узаконенный процесс электронной полиграфии (Т-311;68) — окончательный вывод страниц будущей книги, журнала или газеты делают с помощью лазерного принтера или аналогичной, но более совершенной установки — фотонаборного аппарата.

21. Прощупывая точку за точкой (сканирование). Слово это (от английского *to scan* — внимательно рассматривать, пробегать глазами) означает последовательное, точка за точкой рассматривание какого-либо объекта. Так в передающей телевизионной трубке (Т-251) электронный луч сканирует картинку: строку за строкой проходит весь экран и поочередно сообщает

(Т-8) об освещенности каждой его точки. Иными словами, электронный луч производит развертку изображения (Т-250). В радиолокаторе кругового обзора (Т-266) острый радиолуч вращающейся антенны сканирует местность, просматривая ее круг за кругом. Специальный ультразвуковой локатор сканирует участок человеческого тела, собирая информацию о плотности тканей, на которые наталкивается ультразвук (Т-311;26).

22. Зоркий глаз компьютера (сканер). Прибор с зарядовой связью — ПЗС (Т-311;2) в виде одной строки микроскопических фотоэлементов перемещается вдоль страницы с картинками или текстом и строчку за строчкой сканирует изображение. Каждая его точка кодируется с помощью АЦП (Т-308) и в компьютер из сканера вводится цифровое описание картинки. Важнейшая характеристика сканера — его разрешающая способность, то есть умение различать мелкие детали. У рядового сканера острота зрения (Т-8) — 12 точек на миллиметр, у среднего — 24, у хорошего — 48 и более (соответственно 300, 600 и 1200 точек на дюйм). Цветной сканер трижды сканирует картинку через три разных светофильтра или просматривает ее один раз, но с помощью ПЗС с тремя рядами светоприемников, чувствительных к трем основным цветам (Т-259; Р-150; 2). В итоге получаются три цветоделенные картинки, из которых в дальнейшем (например, на экране монитора или на листе бумаги после трех прогонов на печатном станке с тремя разными красками) вновь получают многоцветную картинку.

23. Письма по телефону (телефакс). Для того, чтобы передать по радио или по проводам музыку, нужна полоса частот 10, а лучше 20 кГц (Т-100, Т-184), для речи достаточно полосы 3 или даже 2 кГц. Именно на пропускание такой полосы частот рассчитано большинство линий телефонной связи. Однако по этим линиям можно передавать и картинку, если смириться с небольшой скоростью передачи (Т-311;95). Один телевизионный кадр содержит примерно полмиллиона элементов: если его передавать 25 раз в секунду (частота смены кадров), то понадобится полоса частот примерно 6 МГц, в 2000 раз больше, чем для речи (Т-256). Но если передавать картинку в 2000 раз медленнее, то есть каждый кадр передавать не за 1/25 секунды, а за 80 секунд, то наивысшая частота в спектре сигнала (частота смены черных и белых точек при считывании картинки) тоже уменьшится в 2000 раз и составит не 6 МГц, а всего 3 кГц. Такой сигнал уже вполне можно передавать по рядовым телефонным линиям.

Для медленной передачи и приема картинки (рукописный или печатный текст, чертеж, рисунок) уже давно существует фототелеграф или иначе — факсимильная связь (от латинского fac simile — сделай подобное). Ее современный вариант коротко называют телефакс, или еще короче — факс. Факс-аппараты (иногда говорят — факс-машины) включают в обычную телефонную сеть и абонента, которому нужно передать сообщение, вызывают обычным способом — набрав его телефонный номер. Соединившись, два факс-аппарата какое-то время переговариваются условными сигналами, определяют качество линии: чем хуже линия, чем меньшую полосу частот она может пропустить, тем медленнее будет идти передача картинки. Для построчного считывания картинки (имеется в виду не строка текста как ряд букв, а ряд точек, из которых складывается картинка) ее медленно перемещают перед линейкой ПЗС, а на другом конце линии принятая картинка чаще всего печатается термоспособом (Т-311;25). Соединив светоприемник факс-аппарата с его же печатающим устройством, можно передать картинку самому себе, то есть снять ее копию. Существуют аппараты, где печать осуществляется на обычную бумагу струйным принтером (Т-311;24) или электрографическим способом (Т-311;19,20).

24. Прекрасные картины из микроклякс (струйный принтер). Уже давно предпринимались попытки выводить информацию из компьютера на особый принтер, где изображение создается «лучом» из мельчайших наэлектризованных чернильных капель. Электрические поля перемещают этот чернильный «луч» в пространстве, и он пишет или рисует на бумаге, чем-то напоминая электронный луч, рисующий картинку на экране кинескопа. Фантастическая, как казалось, идея чернильного принтера стала абсолютной реальностью благодаря микроэлектронным технологиям. Методами фотолитографии (Т-303, Р-180, Р-181, Р-182, Т-311;46) создается цепочка чернильных микронасосов, каждый из которых по команде электрического сигнала в нужный момент выбрасывает на бумажный лист микроскопическую капельку чернил. Приставки «микро» в данном случае абсолютно оправданы: на участке длиной 1 мм размещается 20—30 чернильных микронасосов, размеры капельки не превышают

20—30 микрон, то есть 2—3 сотые доли миллиметра.

В струйных принтерах используют микронасосы двух видов. В тепловых насосах электрический сигнал мгновенно нагревает чернила в микроскопической полости, появляется паровой пузырь, который и выталкивает капельку, стреляет ею в бумагу. В другой разновидности насосов чернильную капельку выталкивает пьезокристалл (Т-229, Т-311;38), который под действием электрического сигнала несколько смещается.

Существуют и цветные струйные принтеры, в них 4 ряда микронасосов «стреляют» в бумагу чернилами трех основных цветов (Т-259) и черными. Линейку микронасосов струйного принтера можно смело назвать шедевром интегральных технологий, тем более что они сделали этот шедевр сравнительно недорогим. Поэтому конструкторы сумели избавить пользователя от необходимости заправлять струйный принтер чернилами. Они еще на заводе залиты в сменный блок — картридж (Т-311;35), в который запрессованы и линейки микронасосов. Когда чернила кончаются, картридж просто выбрасывают.

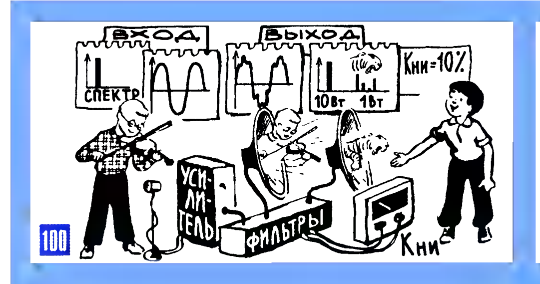
25. Теплом написано и нарисовано теплом (термопечать). Существует разновидность бумаги с особыми примесями, которая при нагревании быстро темнеет. На такой бумаге и осуществляется термопечать с помощью линейки микроскопических электронагревателей. Они соприкасаются с движущейся бумагой, нагреваются в определенном порядке электрическими сигналами, и на листе появляются мельчайшие черные точки, из которых складываются буквы, цифры и рисунки.

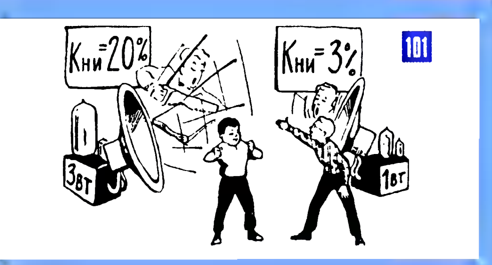
26. Особые таланты звукового рентгена (ультразвуковая диагностика). Конец прошлого века подарил людям много замечательных открытий и изобретений — радио, кинематограф, звукозапись, электрическое освещение, электронную лампу, автомобиль, самолет, телефон. Но, может быть, самым важным для человека стало открытие рентгеновских лучей — могучего средства медицинской диагностики. Впервые появилась возможность заглянуть в человеческий организм, увидеть внутренние органы, выявить скрытые от врача признаки заболеваний.

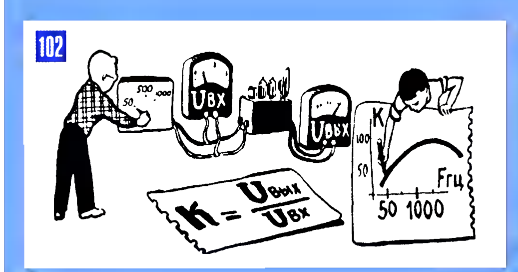
В ряде случаев, однако, рентген оказывается бессильным, так как рентгеновские лучи с одинаковой легкостью проходят через некоторые разные ткани, не обнаруживают их различий. Нередко в этих случаях на помощь приходит ультразвук (Т-101) — его продвижение очень сильно зависит от плотности среды, и он может совершенно по-разному отражаться от тканей, не различаемых рентгеном. Приборы для ультразвуковых исследований (УЗИ) чаще всего действуют так же, как радиолокатор. Линейку из миниатюрных пьезоизлучателей прикладывают к коже (слегка смочив ее, чтобы облегчить переход ультразвука от прибора в кожу), и она посылает в глубь тела импульсы ультразвука. Излучатели выдают серии очень слабых и поэтому безвредных ультразвуковых импульсов, а в паузах сами же принимают отраженные сигналы. Ультразвук отражается от любой точки, где меняется плотность ткани, в частности, от границы внутренних органов, от разного рода неоднородностей, дефектов. Каждый ультразвуковой импульс каждого излучателя создает много разных отраженных сигналов; чем глубже находится область отражения, тем больше запаздывает каждый сигнал. Кроме того, врач медленно перемещает линейку излучателей, и в память прибора поступает множество сложных картин отражения. Электронные схемы и встроенный компьютер обрабатывают их, показывая на экране кинескопа общую внутреннюю картину, например, области почек, сердца, желудка. Заинтересовавшую врача картинку можно всю полностью запомнить, а затем отпечатать на листке бумаги (обычно используется термопечать).

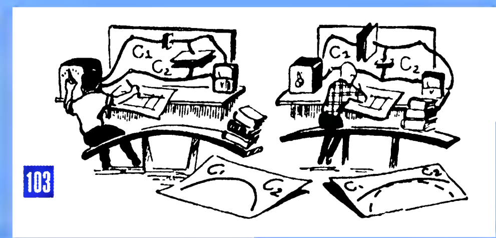
Аппарат для УЗИ — сложная электронная машина. Сама линейка пьезоизлучателей легко умещается в руке, а система анализа и обработки сигналов занимает места больше, чем два-три телевизора. Есть аппараты для УЗИ, замеряющие изменение частоты звука, отраженного от движущегося объекта (эффект Доплера) (Т-266, Т-311;18). Это позволяет, например, оценить скорость движения крови или характер движения разных областей сердца.

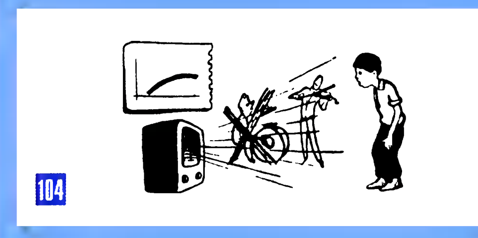
27. Проверять не разрушая (ультразвуковая дефектоскопия. Что такое неразрушающий контроль, хорошо знают люди многих специальностей, особенно машиностроители, мостовики, авиаторы, корабелы, металлурги. Представьте себе, что при изготовлении рельса в самом металле образовалась внутренняя трещина, из-за которой может произойти железнодорожная катастрофа. Чтобы обнаружить такую трещину, нужно нарезать металл на небольшие куски, а это, конечно, полная бессмысли-


100
ВХОД
ВЫХОД
СПЕКТР
Кни=10%
10Вт 1Вт
УСИ-ЛИ-ТЕЛЬ
ФИЛЬТРЫ
Кни

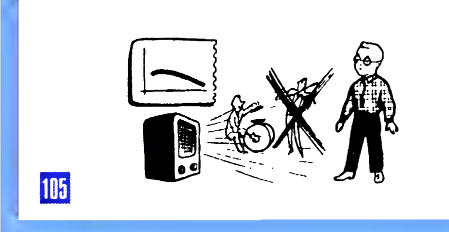

101
Кни=20%
Кни=3%
3вт
1вт

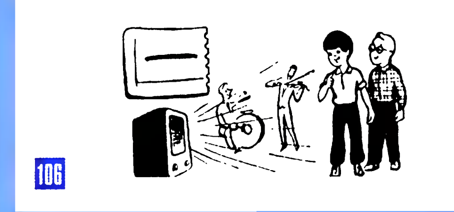

102
Uвх
Uвых
K
100
50
Fгц
50 1000
k = Uвых / Uвх


103
C₁
C₂


104


107
С ЭКРАНОМ
БЕЗ ЭКРАНА
ЧАСТОТА
АКУСТИЧЕСКИЙ ЭКРАН


105


106


108

ца. Вот здесь приходят на помощь разнообразные методы неразрушающего контроля, созданные совместными усилиями физики и электроники. Один из способов — ультразвуковое просвечивание, другой — ультразвуковая локация, напоминающая локацию в УЗИ. Один из распространенных ультразвуковых локаторов-дефектоскопов, установленный на специальной тележке, движется по железнодорожным рельсам, осуществляя их стопроцентный неразрушающий контроль. Кстати, медицинские ультразвуковые приборы (Т-311;26) могут работать как в режиме локации, так и в режиме просвечивания.

28. Невидимое можно точно вычислить и нарисовать (компьютерный томограф). Есть масса недоступных пока компьютеру сложных задач, которые человек решает быстро и как бы автоматически. Так, например, мы узнаем в толпе приятеля, которого не видели много лет, или распознаем смысл слов, независимо от того, каким голосом, в каком темпе и с каким акцентом они произносятся. Компьютер уже решает много задач распознавания, но до человека ему пока еще далеко. В то же время есть задачи, неразрешимые для человека (в основном связанные с большим объемом вычислений), прекрасно решаемые компьютером. Решая одну из таких задач, компьютер может быстро вычислить и нарисовать своего рода разрез человеческого тела по результатам большого числа рентгеновских просвечиваний. Их осуществляют поворотная рентгеновская трубка (излучатель) и приемник рентгеновских лучей, прошедших через тело пациента. Поворачивая эту пару (излучатель-приемник), вводят в компьютер данные об уровне принятого излучения на разных направлениях (обычно несколько десятков измерений), и компьютер, разумеется, работая по программе, созданной человеком, по собранным данным с высокой точностью воссоздает «разрез» тела в плоскости рентгеновского просвечивания.

29. С радиоприемником внутрь молекулы (спектрографы электронного и ядерного резонанса). Вернувшись к короткому рассказу о лазерах (Т-305), вспомним, что атом в какой-то мере напоминает человека на парадной мраморной лестнице — он может подниматься или спускаться, переходить с одной ступени на другую, увеличивая при подъеме свой запас энергии и уменьшая его при спуске. Детали атома (Т-8) по отдельности тоже могут менять свой энергетический запас, переходить, как принято говорить, с одного энергетического уровня на другой. У электрона, например, энергетический запас меняется, когда он перескакивает (Т-8) с одной орбиты на другую: при переходе на более далекую от ядра орбиту электрон отдает порцию энергии, а чтобы вернуться обратно, он должен такую же порцию откуда-то получить. Скачками меняется энергетический уровень и ядерных частиц, в частности протонов. При этом всякий раз они тоже выбрасывают либо поглощают порцию энергии.

В каком же виде атом отдает либо поглощает энергию? В виде звуковой волны? Удара? Перемещения? Атомы и атомные частицы умеют поглощать и отдавать энергию в виде кванта электромагнитных волн — строго определенной их порции. А сама эта порция определяет частоту излучения: чем больше энергия кванта, тем выше частота.

Понимание всего этого в итоге привело к созданию очень тонких методов исследования атомов, молекул, биологических структур. Представим себе, что на группу определенных молекул мы направили излучение от радиопередатчика и плавно меняем его частоту. Вдруг обнаруживается, что на какой-то частоте молекулы особо сильно поглощают излучение передатчика. Это напоминает резонанс — настройку приемника на частоту радиостанции (у нас, правда, все наоборот — мы меняем частоту передатчика, пытаясь определить, на какую частоту настроены приемники-молекулы). О чем говорит этот резонанс? О том, что данная частота (а значит, данная энергия квантов) совпала с каким-то разрешенным для данной молекулы энергетическим переходом. Определив набор (спектр) резонансных частот, то есть набор (спектр) энергетических уровней каких-либо атомов или молекул, получают важнейшие сведения об их устройстве, причем никакими другими способами узнать эти подробности раньше не удавалось.

Спектрометры электронного и ядерного резонанса — большие, сложные и дорогие электронные установки. Но химические и биологические научные центры делают все возможное, чтобы иметь у себя эти замечательные машины познания, открывшие совершенно новую дорогу в мир невидимого. А несколько лет назад спектрограф ядерного магнитного резонанса (ЯМР) объединили с компьютерным томографом, и у медиков появилась возможность (Т-311;28) не только видеть «разрез» любых участков тела, но и получать ценнейшую информа-

цию об особенностях тканей в различных местах этого «разреза».

30. Экран рассказывает, рисует, показывает кино, советует, танцует и поет (мультимедиа). Слово мультимедиа (от латинских *мультус* — много и *медиус* — средний, здесь тот же корень, что в слове медиатор — посредник) по смыслу можно перевести так: многообразие средств передачи воздействия. Так называют учебные, развлекательные, справочные и иные компьютерные программы, в которые входят текст, музыка, рисунки, фотографии, отрывки из кинофильмов. Мультимедиа-программы, как правило, интерактивны: пользователь задает программе вопросы, интересуется подробностями, решает простейшие задачи, из нескольких возможных ответов пытается выбрать правильный, запрашивает и получает дополнительную информацию. Так, например, мультимедиа географический атлас по вашим запросам позволит увидеть детальные карты интересующего вас района, покажет планы расположенных в нем городов, фотографии исторических мест, достопримечательностей, портреты знатных горожан, покажет фильм о нравах местных жителей, воспроизведет народные песни. Аналогично музыкой, фильмами, цветными фотографиями иллюстрируются статьи в мультимедиа энциклопедиях.

31. Грампластинка для компьютера (CD ROM). К двум видам долговременной компьютерной памяти — на сменном гибком диске (НГМД) и на внутреннем жестком диске (винчестер) добавился еще один — память на лазерных дисках (информация считывается с помощью лазера; Т-308). Сначала такие диски диаметром 12,7 см использовали только для высококачественной звукозаписи и назвали их компакт-дисками, по-английски — Compact Disk, сокращенно CD. Теперь такого же размера лазерные диски имеют несколько других профессий (Т-311;30,70). В частности, они хранят информацию для компьютера и называются в этом случае CD ROM — Compact Disk Read Only Memory. Перевод простой: компакт-диск, память только для чтения. Последнее означает, что информация записана на диске раз и навсегда, при его изготовлении ее можно только считывать, ничего добавить к ней нельзя.

Хранит CD ROM около 600 Мбайт (мегабайт; Т-276) информации, даже по нынешним меркам — это немало. Если записывать чистый текст, то на диске поместится 200 разных книг такой толщины, как эта. Чтобы записать страницу рисунков и особенно фотографий, нужно значительно больше памяти, чем для страницы текста, однако несколько дисков прекрасно вмещают большую многотомную энциклопедию.

Для считывания с CD ROM нужен специальный «проигрыватель», он может быть встроен в корпус компьютера, а может представлять собой небольшой отдельный аппарат. В любом «проигрывателе» для CD число оборотов несколько повышается по мере приближения к центру диска. Дело в том, что считывание должно вестись с постоянной линейной скоростью, а длина одного витка дорожки с записью уменьшается по мере приближения к центру.

Система записи на CD ROM создает максимум удобств для пользователя в лучших традициях компьютерного сервиса. Можно сразу же просмотреть меню — краткое описание всего, что хранится на диске. А выбрав нужный раздел, можно довольно быстро увидеть его на экране: считывающая система по известному ей коду сразу найдет нужный файл (раздел записи), перескочив через все ненужные дорожки.

Постепенно CD ROM начал дополнять, а иногда и заменять книгу и видеокассету. Уже выпускаются огромными тиражами мультимедиа (Т-311;30) учебные, развлекательные, справочные CD ROMы. Для работы с ними в компьютер, кроме «проигрывателя», нужно ввести громкоговорители и звуковую плату, они расшифруют и воспроизведут записанную на диске звуковую часть мультимедиа программы.

32. Теснота в эфире, как теснота в квартире. В начале века во всем мире работало всего несколько радиопередатчиков, да и те излучали в эфир всего лишь медленные сигналы азбуки Морзе. Вряд ли специалисты того времени могли предположить, что через двадцать-тридцать лет заработают сотни и тысячи передающих станций, которым уже станет тесно в эфире, и придется за ними закреплять рабочие частоты, очень близко одна от другой. А еще лет через десять-двадцать теснота в эфире дошла до такой степени, что на некоторых диапазонах вообще нельзя было найти свободной частоты для новой радиостанции — все было занято. Пришлось осваивать новые и поначалу не очень удобные диапазоны (Т-208).

На первый взгляд, никакой тесноты в эфире не должно быть: работают, скажем, две радиостанции на частотах 200 кГц и

210 кГц, понадобилось еще одну станцию выпустить в эфир, ну и разрешите ей работать между ними — на частоте 205 кГц. Еще нужны свободные частоты? Пожалуйста — есть 201 кГц, 202 кГц и т. д. А потом можно еще гуще (Т-8) частоты располагать — 201,1 кГц (201 100 Гц), 201,2 кГц (201 200 Гц) и т. д.

В действительности все не так просто — можно построить гостиницу с маленькими жилыми комнатами, можно с очень маленькими, но нельзя жить в комнате размером 20 см х 30 см или даже 1 м х 2 м. Вот так и соседние частоты радиовещательных станций нельзя сближать беспредельно, поскольку радиопередатчик излучает не одну частоту, а целую группу или, как принято говорить, полосу частот (Т-207). Чтобы одна полоса частот не налезала на другую, несущие частоты радиовещательных станций должны стоять друг от друга не меньше чем на 10 кГц, а телевизионных — примерно на 8 МГц (Т-257). При раздаче частот, правда, учитывают еще и особенности распространения радиоволн. Так, скажем, ультракороткие волны далеко за горизонт не уходят, и поэтому московская и воронежская УКВ радиостанции вполне могут работать на одной и той же частоте, не мешая друг другу.

На заре радиотехники все радиостанции работали только на длинных и средних волнах, в двадцатых годах быстро пошло заселение (Т-8) коротковолнового диапазона, а сейчас вовсю используются метровые волны (МВ), дециметровые (ДМВ), сантиметровые (СМВ) и даже миллиметровые (ММВ). Причем все это диапазоны большой частотной емкости: если на средних волнах с интервалом 10 кГц можно разместить 108 радиостанций (Р-120, Р-121, Р-123), а на коротких — 2700, то на метровых волнах с тем же частотным интервалом (10 кГц) уже найдутся свободные частоты для 27 000 таких станций, на дециметровых — для 270 000, на сантиметровых — для 2 700 000 и на миллиметровых — для 27 000 000 (27 миллионов) радиостанций. Объясняется все это очень просто: чем короче волна, тем выше частота, тем больше по абсолютной величине частотная территория диапазона, то есть разница между самой низкой и самой высокой его частотой. И тем больше этот диапазон вмещает маленьких частотных участков по 10—20 кГц, необходимых для передачи речи и музыки (Т-208).

Диапазоны ультракоротких (метровых) и еще более коротких радиоволн (дециметровых, сантиметровых, миллиметровых) решили проблему тесноты в эфире, но все они — диапазоны коротких дистанций. Радиоволны этих диапазонов Землю не огибают и распространяются лишь на расстоянии прямой видимости, то есть не дальше горизонта. Именно поэтому москвичи много лет видели лишь программы московского телецентра, а киевляне — киевского. Только создание сложных и дорогих систем для передачи очень коротких радиоволн по кабелю, по радиорелейным линиям и через спутники сделало диапазоны больших частотных территорий еще и диапазонами дальних расстояний.

33. Играйте и выигрывайте (компьютерные игры). Это, по сути дела, нормальные, интерактивные программы (Т-311;30), они вводятся в компьютер с дискеты, с CD или с внутреннего твердого диска (с винчестера; Т-277), переписываются в ОЗУ (в оперативную память) и оттуда с помощью процессора начинают самостоятельно действовать — показывают на экране записанный в памяти своего рода кинофильм. Участник игры может вмешиваться в демонстрацию фильма, фактически выбирая одно из двух или нескольких возможных продолжений какого-либо сюжета. Игра средней сложности занимает на дискете 50—1000 кбайт, затем (при введении в компьютер) столько же места она занимает в ОЗУ. Есть игры, особенно с трехмерной графикой (не плоские картинки, а имитация объема на экране), занимающие несколько мегабайт памяти. Это не должно удивлять: один цветной кадр, даже при пониженной его четкости, состоит из 50—100 тысяч точек, каждую получают сложением трех основных цветов, и каждый из них имеет несколько десятков уровней яркости. В итоге если решать задачу «в лоб», то для описания одного кадра может понадобиться около мегабайта памяти, а для получасовой игры — десятки гигабайт.

Даже самые простые игры никогда не удалось бы запустить на персональном компьютере, если бы не искусство программистов — они разработали очень экономные способы записи того, что должно происходить на экране. Так, например, какой-либо интерьер или пейзаж записан в ОЗУ лишь один раз, а не для каждого кадра в отдельности. При смене интерьера, например, при переходе на следующий уровень игры, компьютер перекачивает новую картинку с диска в ОЗУ. Более того — один раз записаны какие-то повторяющиеся элементы интерьера, например, колонны, лестницы, окна, кирпичная кладка. Значительно экономнее извлекать их из памяти и ставить в

разные места кадра, чем описывать его целиком. Примерно так же хранятся в памяти и образы всех героев: повторяясь, они вводятся в длинную последовательность кадров лишь с небольшими изменениями, создающими эффект перемещений или каких-либо действий.

34. Игровые приставки. Компьютерные игры стали особо популярными, когда появилась возможность играть в них без компьютера — на игровых приставках. Правда, такую приставку следовало бы считать предельно упрощенным компьютером, умеющим делать только одно дело — прокручивать игровые сюжеты на экране телевизора. Приставка потому и называется приставкой, что она пристыковывается к телевизору, использует его экран, всю систему формирования цветной картинки и звуковой канал. Сами же игры записаны в микросхемах памяти, установленных в сменных блоках — картриджах (Т-311;35). Картридж вставляется в приставку, соединяется с ней с помощью многоконтактного разъема и сразу же готов показывать очень экономно записанный в нем игровой сюжет. Только благодаря автоматизированному крупномасштабному производству микросхем, картридж не оказался безумно дорогим изделием.

Приставки (как и компьютеры) прежде всего различают по той порции двоичных сигналов, которая обрабатывается процессором за один такт (Т-272, Т-311;114). Самые простые приставки — 8-битные, затем следуют 16-, 32- и даже 64-битные. Чем выше «битность» приставки, тем более сложную и четкую картинку она дает, быстрее работает и позволяет играть в более динамичные игры. Кроме простейших картриджных существуют более современные 32-битные игровые приставки с «проигрывателем» лазерных дисков (CD ROM; Т-311;31), на каждом из них может быть записано несколько сложных игр с прекрасной трехмерной графикой.

35. Фирма работает на клиента (картридж). Не так давно на российский рынок хлынул поток импортной аппаратуры, и многие наверняка обратили внимание на такую ее особенность: изготовитель изо всех сил старается, чтобы потребителю было приятно и удобно, чтобы, не дай Бог, не обременить его какими-либо лишними действиями. Хочешь вынуть из своего «ксерокса» какой-то блок и видишь, что у него есть откидная ручка, как у чемодана, чтобы удобнее было поднять и перенести на другое место. На карманном магнитофоне с гордостью пишут: «One touch control» — «Управление одним нажатием», то есть вам не придется утруждать себя нажатием сразу двух кнопок. Или возьмите пульт дистанционного управления — это уже стал просто какой-то культ. Пультом снабжен даже самый маленький и самый дешевый телевизор, с помощью пульта вы можете не только переключить программу или уменьшить громкость, но и произвести массу точных регулировок и настроек, ради которых вполне можно бы подняться с дивана.

Еще одна примета сервиса — система картриджей (английское слово cartridg означает — патрон), сменных блоков, избавляющих от каких-то операций по обслуживанию аппарата. Вместо того, чтобы досыпать печатающий порошок, вы вставляете в ксерокс или в лазерный принтер (Т-311;19, Т-311;20) новый картридж — целый печатающий блок, заправленный порошком на заводе. Чтобы избавить вас от такого неприятного дела, как заливка чернил, в струйном принтере (Т-311;24) меняют весь печатающий картридж, в котором, кроме новой порции чернил, есть еще и сложнейший агрегат — линейка микронасосов.

У такой заботливости, возможно, есть несколько причин. Может быть, в их числе нормальное проявление гуманизма. А также влияние давних традиций фирмы. И еще успехи технологии массового производства — сейчас бывает проще изготовить новую машину, чем отремонтировать старую. Но во всех случаях дело не обошлось, думается, без главного экономического мотора, действующего с древнейших времен — улучшать продукцию, бороться за клиента заставляет конкуренция, стремление удержать свои позиции в прибыльном деле.

36. Совсем другая радиотехника (СВЧ). В коротком рассказе об излучении радиоволн (Т-204) промелькнули две очень примечательные цифры — мимоходом было отмечено, что для эффективного излучения желательно иметь антенны длиной в 1/4 или еще лучше 1/2 длины волны. Так, например, радиоволны длиной L = 40 м хорошо будут излучаться 20-метровой антенной (1/2 L — полуволновый излучатель) или 10-метровой (1/4 L — четвертьволновый излучатель). Дело в том, что при определенном соотношении между длиной волны и длиной провода, в который запущен переменный ток, в проводе возникает резонанс, очень напоминающий резонанс в колебательном контуре (Т-83, Т-84, Т-85, Т-209).

Но в контуре резонансную частоту определяли, как часто говорят, сосредоточенные параметры — индуктивность катушки L и емкость конденсатора C (Р-58, известная формула $f=\frac{1}{6,28\sqrt{LC}}$). А в проводе решающую роль играют так называемые распределенные параметры, как бы размазанные (Т-8) по всей длине провода его собственная индуктивность и емкость. Причем резонанс наступает именно при таком соотношении: длина провода равна или кратна четверти (1/4) длины волны. То есть резонанс наблюдается в проводе длиной 1/4L, 1/2L, 3/4L, L, $1^1/_4$L и т. д. А это значит, что четвертьволновый (а также полуволновый и т. д.) отрезок провода или двухпроводной линии может работать в качестве резонансного колебательного контура.

На длинных, средних и коротких волнах резонанс в проводе используют лишь в антенне — для эффективного излучения радиоволн. Называют такой провод четвертьволновым или полуволновым излучателем (вибратором). На метровых волнах иногда можно увидеть замкнутую на конце четвертьволновую двухпроводную линию или короткозамкнутый четвертьволновый отрезок кабеля, включенные вместо резонансного контура. А на дециметровых волнах короткозамкнутая четвертьволновая линия (кабель) вместо контура — явление типичное. Особенно в коротковолновой части ДМВ диапазона, где резонансная линия имеет длину всего несколько сантиметров. Кстати, четвертьволновую линию (кабель), подобно контуру, можно перестроить с одной частоты на другую, меняя ее «работающую» длину.

Резонанс в четвертьволновой линии — лишь один из примеров особого поведения электромагнитных волн, когда длина волны соизмерима с размерами взаимодействующих с ней «предметов». На СВЧ, то есть на сверхвысоких частотах (к ним относят сантиметровые, миллиметровые и отчасти дециметровые волны), создать такую соизмеримость несложно, и в этих диапазонах широко используют радиотехнические устройства, которые совершенно не похожи на классику длинно-средневолновой радиотехники.

Это, в частности, объемный резонатор — металлический пустотелый параллелепипед, который ведет себя как резонансный LC-контур, причем очень высокой добротности (Т-93, Т-169). Сама же резонансная частота объемного резонатора определяется его геометрическими размерами. Другой пример — волноводы, металлические трубы, обычно прямоугольного сечения, по которым электромагнитная энергия СВЧ передается с очень небольшими потерями, ничуть не хуже, чем электрический ток по обычным проводам. Иногда на конце волновода можно увидеть небольшой рупор — он делает то же самое, что передающая или приемная антенна. Приемная рупорная антенна обычно работает вместе с «тарелкой» — с параболическим рефлектором, который собирает радиоволны со сравнительно большой площади и фокусирует их, направляет туда, где расположен рупор. В передающей системе рупорный излучатель уже сам направляет радиоволны на «тарелку», а она фокусирует их, направляет в пространство сравнительно узким лучом.

37. Полностью сохранив все свое содержимое, большой чемодан превращается в маленькую сумку (сжатие спектра). Спектр какого-либо сигнала — это эквивалентный ему набор синусоидальных составляющих (Т-100). У разных сигналов разные спектры, и, в частности, у этих спектров разная ширина — расстояние между наибольшей и наименьшей частотой составляющих. Так, скажем, у не очень быстрого телеграфного сигнала составляющие спектра лежат в диапазоне от 50 до 200 Гц, то есть ширина спектра — 150 Гц. Речевой сигнал имеет ширину спектра около 3000 Гц (например, от 200 до 3200 Гц), при передаче музыки спектр расширяется до 10 и даже до 20 кГц, а при передаче картинки — до 6,5 МГц (Т-120, Т-207, Т-256).

Есть много причин, заставляющих искать безвредные способы сужения, сжатия спектра. Вот одна из таких причин: чем меньше ширина спектра какого-либо сигнала, тем меньшую полосу частот займет в эфире радиостанция, которая этот сигнал передает (Т-311;32).

Любое преобразование спектра — это своего рода хирургическая операция. Сжатие спектра можно осуществить разными способами, самый простой очень напоминает ампутацию — из спектра просто удаляют какие-то составляющие (как правило, высокочастотные), смирившись с искажением самого сигнала. Простейший пример — регулятор тембра, срезающий все, что выше 5 кГц, в результате чего звук теряет свою чистоту и звонкость. В видеомагнитофоне при записи вынужденно сужают спектр ТВ сигнала с 6 МГц примерно до 3 МГц и мирятся с тем, что четкость картинки ухудшается с 600 до 250 строк (Т-256, Т-311.9).

Совсем иные возможности у цифровой техники, где, в частности, удается сузить

спектр ТВ сигнала с 6 МГц чуть ли не до 1 МГц, причем практически без потери качества. Но, конечно, для того, чтобы применить цифровые методы, нужно сначала аналоговый сигнал (картинка, звук) превратить в «цифру» (Р-184), затем обработать цифровой сигнал и сжать его спектр, записать или передать куда-нибудь получившуюся узкополосную «шифровку». В заключение всей процедуры по этой «шифровке» нужно восстановить изначальный полный спектр и воспроизвести качественную картинку или естественный звук.

Цифровые системы сжатия спектра после многолетних теоретических исследований недавно появились в массовой аппаратуре, в частности, в цифровых камкордерах (Т-311;9). Обязательный элемент таких систем — микропроцессоры и большая цифровая память на микросхемах. В нее попадают два-три телевизионных кадра или их фрагменты, и после обработки сигнал со сжатым спектром именно из памяти идет на запись, а восстановленный — на экран телевизора. Так что при сжатии спектра ТВ картинка попадает на экран с некоторым опозданием, но вряд ли это можно обнаружить — опоздание не превышает малых долей секунды. Само сжатие или восстановление — весьма сложные математические операции, им предшествует мгновенный и тщательный анализ попавшей в память картинки и столь же быстрый выбор методов сжатия спектра.

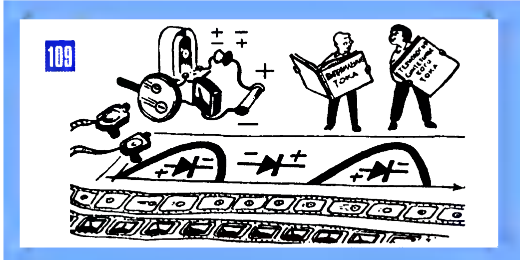
Основной смысл всех этих методов — снизить объем информации, который передается за единицу времени, скажем, за секунду (Т-311;95). Так, если каждую секунду передавать не 25 кадров, как это делается в телевидении (Т-255), а только один кадр, то спектр ТВ сигнала сожмется в 25 раз. Спектр ТВ сигнала сильно сузится, если отказаться от передачи очень мелких деталей картинки. Или вместо сотен цветовых оттенков передавать десяток-другой. Практически при сжатии спектра телевизионного сигнала могут выполняться такие операции: неподвижную картинку (например, титры) можно передать один раз, а затем посылать лишь короткие команды повтора; для какого-либо динамичного сюжета можно ограничиться передачей лишь тех элементов кадра, которые меняются, и не забивать канал связи повторением неизменных фрагментов; вместо того, чтобы передавать описание всех точек крупной однотонной детали, можно передать информацию о ней как об одной «большой точке». Примерно то же самое делают при архивировании — сжатии графической информации при ее записи в память компьютера.

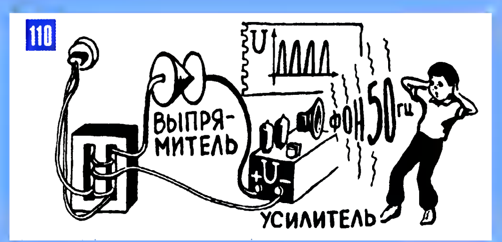
Эти предельно (может быть, даже недопустимо; Т-8) упрощенные описания не должны создавать иллюзию, что сжатие спектра — это очень просто. Сжатие стало реальностью только благодаря тому, что была глубоко разработана его теория и, кроме того, в несколько микросхем удалось втиснуть мощнейшие вычислительные средства с огромной оперативной памятью.

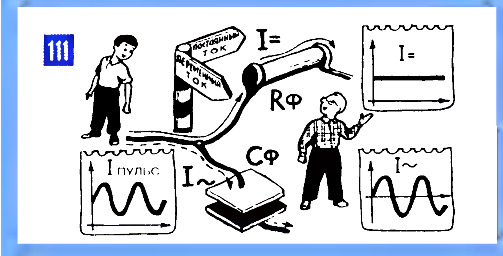
38. Пьезоэлектричество помогает электричеству. В радиоэлектронике пьезоэффект (от греческого *пьезо* — давлю, сжимаю) нередко помогает получить результаты, недоступные нетрадиционным чисто электрическим методам. Обнаруживается пьезоэффект у некоторых природных кристаллов (кварц) и в материалах, созданных искусственно (пьезокерамика). Сам эффект состоит в том, что, когда сжимают либо растягивают пьезокристалл, на его поверхности (на двух противоположных гранях кристалла) в результате определенных внутренних процессов появляется избыточный электрический заряд — пьезокристалл становится источником ЭДС. И наоборот, под действием электричества пьезокристалл деформируется. Если, скажем, к нему подвести переменное напряжение, то кристалл начнет вибрировать, повторяя все изменения электрического сигнала.

Уже давно пьезоэффект используют в простейших микрофонах (Т-109), звукоснимателях (Т-229), датчиках перемещения (Т-108, Т-263), маломощных громкоговорителях (Т-110). Еще одна древняя профессия пьезокристалла — он обеспечивает стабильность частоты в высокочастотных генераторах (Т-170, Т-171), для которых именно стабильность частоты нередко оказывается самой важной характеристикой. Должна быть, в частности, очень стабильной рабочая частота радио- и телевизионного передатчиков — они не могут гулять по эфиру (Т-8), мешая соседям и сбивая с толку радиослушателей или телезрителей. Да и для радиослушателя стабильность частоты совсем не чужое дело — когда уходит частота гетеродина в вашем супергетеродинном приемнике (например, из-за его первоначального прогрева или из-за изменений питающего напряжения), то от вас уходит и принимаемая станция, ибо настройку на нее определяет именно частота гетеродина (Т-219).

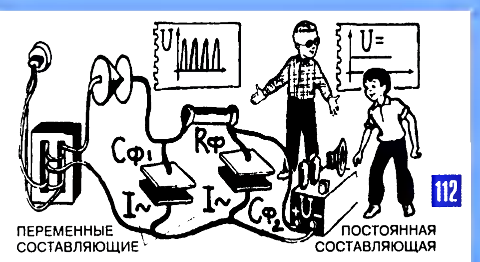
Если в генераторе частоту задает обычный LC-контур (С-17), то стабильность частоты будет тем выше, чем выше его доб-

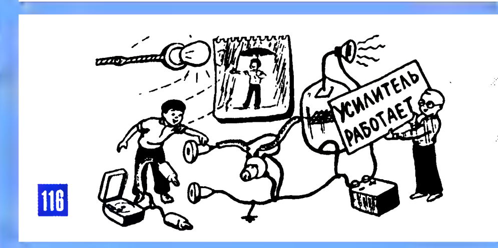

109

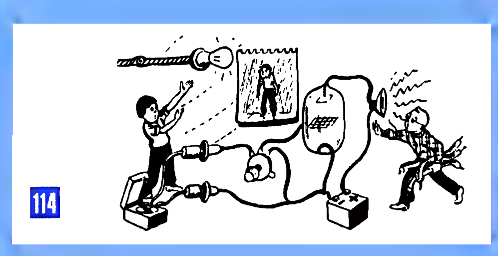

110
U
ВЫПРЯ-
МИТЕЛЬ
ФОН 50 гц
+U-
УСИЛИТЕЛЬ

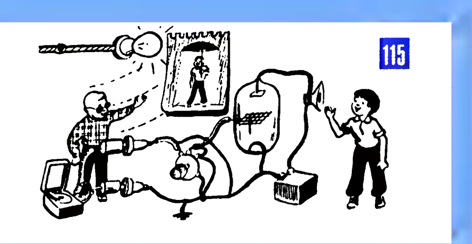

111
ПОСТОЯННЫЙ ТОК
ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК
I=
Rф
Cф
I~
I пульс
I=
I~


113
20 мкФ
50 мкФ


U
U=
Cф1
Rф
I~
I~
Cф2
+U-
112
ПЕРЕМЕННЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ
ПОСТОЯННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ


УСИЛИТЕЛЬ РАБОТАЕТ
116


114


115


117
ГЛАВНОЕ - ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ
ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
РАДИОТЕХНИКА
СВЕТОТЕХНИКА
220В
12В
ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ
220 В
УТЕЧКА
КОРПУС
ЗЕМЛЯ
220В
12В
БЕЗОПАСНО
ЭКОНОМИЯ

ротность Q (Т-93, Т-169) — добротный контур с очень острой резонансной кривой не дает частоте заметно уходить из области резонанса. Пьезокристалл, как, скажем, струна или любое другое жесткое тело, есть механическая колебательная система, частота ее собственных колебаний определяется массой и упругостью (Т-92). Кварцевый кристалл — это механический «колебательный контур» с очень высокой добротностью Q. Если у LC-контура очень хорошей считается добротность 300 и даже 200, то у кварцевой пластины добротность достигает 10 000, а иногда и 100 000. При этом пьезокристалл не просто механический резонатор, он в процессе собственных механических колебаний вырабатывает еще и электрический сигнал. Можно включить пьезокристалл в генератор вместо колебательного контура и создать цепь положительной обратной связи (Т-170) — она будет подпитывать механические колебания пластины (также за счет пьезоэффекта) и поможет генерировать незатухающие колебания с очень стабильной частотой.

Резонансные свойства пьезокристаллов используют в пьезокерамических фильтрах, они, в частности, заменяют многоконтурные LC-фильтры в усилителях промежуточной частоты (Т-220).

39. Бесшумные шаги минут (электронные часы). Они бывают нескольких видов, у самых распространенных — кварцевый задающий генератор (обычный транзисторный генератор с маленькой кварцевой пластинкой вместо колебательного контура; Р-97, Т-311;38), цепочка делителей частоты (Т-181) и простейший цифровой индикатор (К-21) на жидких кристаллах (Т-311;94). Задающий генератор выполняет роль маятника — его незатухающие колебания в итоге определяют весь часовой ритм. Кварцевая пластина обеспечивает высокую стабильность частоты, а значит, точность хода (Т-311;38). Частота задающего генератора обычно составляет десятки килогерц, делители частоты вместе с логическими элементами (Т-267) уменьшают ее в строго определенное число раз и выдают секундные импульсы (частота 1 Гц), минутные (1/60 Гц) и часовые (1/3600 Гц). Это, в частности, значит, что на счетчик минут попадет каждый 60-й секундный импульс, а на счетчик часов — каждый 60-й минутный импульс. Для календаря частота часовых импульсов делится на 24 (дни), затем еще на 7 (дни недели), а также на 30 или 31 (месяцы). Обычно в часах имеется память, которая знает (Т-8), в каком месяце сколько дней.

Еще каких-нибудь двадцать-тридцать лет назад такие часы считались бы неосуществимо сложным устройством — в них было бы несколько тысяч транзисторов, конденсаторов, диодов и других элементов, это значительно больше, чем в телевизоре тех времен. Но сегодня вся электроника часов на автоматических производственных линиях втиснута (Т-8) в одну простенькую микросхему. Поэтому цифровые электронные часы, работающие точно и надежно, стоят меньше самых простых механических часов.

Другой тип электронных часов — своего рода гибрид, в них сочетается высокостабильный кварцевый генератор (точность хода) и обычный шестеренчатый «пересчетный механизм» с привычными стрелками. Генератор с традиционными делителями частоты (триггеры) дает в итоге импульсы с частотой один герц и они «мелкими шажками» сдвигают секундную стрелку. Переход от электроники к механике осуществляет миниатюрный шаговый двигатель — каждый секундный импульс слегка поворачивает его ротор (и смещает секундную стрелку на одно деление), а он через систему шестерен приводит в движение минутную и часовую стрелки.

И еще одни электронные часы, самые простые, но, к сожалению, не всегда точные. Здесь электроника вместе с батарейкой заменяют пружину (или гири), компенсируют потери энергии, в частности, из-за трения. Маятник с запрессованным магнитом проходит рядом с катушкой, и магнит наводит в ней ЭДС (Т-56). Транзистор усиливает ее и возвращает в катушку, причем в такой момент и в такой фазе, чтобы магнитное поле катушки подтолкнуло маятник, добавило ему энергии (Т-55).

40. Рожденная свободной (электромагнитная волна). Много лет человек изучал свою планету, ходил пешком, плавал по рекам и через океаны, бурил разведочные скважины. Постепенно исчезли белые пятна на картах, а это значит, что не осталось неизвестных территорий — все на Земле изучено, все известно.

Но вот начались космические полеты, люди посмотрели на Землю с орбиты и увидели такое, о чем даже не подозревали. Разные, как казалось, гористые области предстали как фрагменты единой структуры рельефа. У некоторых больших структур, напротив, обнаружились как бы самостоятельные, независимые образования. Более понятными стали многие особенности береговых очертаний и их «стыковка»

с рельефом океанского дна. Одним словом, взгляд с высоты помог по-новому осмыслить составленную по частям большую картину, лучше понять взаимосвязь ее деталей.

Всегда, видимо, полезно, подобно художнику, немного отойти назад и издали взглянуть на знакомое до мелочей полотно. Неплохо, в частности, обвести взглядом весь диапазон электромагнитных волн, об отдельных участках которого уже говорено-переговорено.

Электромагнитная волна... Свободная физическая реальность, взаимосвязанные и непрерывно меняющиеся, как бы живые, сгустки электрических и магнитных полей, бегущие куда-то (лучше бы, пожалуй, сказать несущиеся) со скоростью 300 тысяч километров в секунду, — за секунду с небольшим электромагнитная волна долетит до Луны, за 8 минут — до Солнца. И еще один, уже классический пример: из Москвы до Киева курьерский поезд идет ночь, электромагнитная волна за секунду 200 раз смотается (Т-8) туда-обратно.

Особое внимание хотелось бы обратить на промелькнувшее чуть выше слово «свободная». В какой-то момент электромагнитную волну создал излучатель, скажем, грозовой разряд или антенна радиопередатчика. Но вырвавшись на свободу, волна потеряла связь со своим создателем, живет своей жизнью и носится по свету сама по себе (Т-8).

Электромагнитные волны все одинаковы — электрические и магнитные поля, объединившись, непрерывно обмениваются энергией, тем и живут. Такой обмен называют электромагнитными колебаниями, и это, конечно, очень правильное название. Потому, что в электромагнитной волне происходит то, что мы наблюдали в колебательном контуре, где энергия непрерывно перекачивалась из конденсатора в катушку и обратно — туда-назад, туда-назад, туда-назад... Такой обмен энергией происходит и в любой электромагнитной волне, в этом ее сущность, ее природа.

И все же совершенно одинаковые электромагнитные волны различаются частотой этих энергетических обменов, то есть частотой электромагнитных колебаний и, значит, длиной волн (Т-202).

41. От сверхдлинных радиоволн до гамма-лучей. В принципе можно создать сколь угодно длинные волны. Переменный ток в электросети (частота 50 Гц) мог бы излучать электромагнитные волны длиной 6 тысяч километров, то есть 6 миллионов метров, но трудно представить себе четвертьволновую антенну высотой 1,5 тысячи километров для эффективного их излучения. Реально радиотехника имеет дело с волнами длиной в несколько километров. Это сверхдлинные радиоволны, они появляются при грозовых разрядах и несут интересную информацию об атмосферных процессах (молния — огромный излучатель), а также используются (во всяком случае, использовались во время войны) для связи с подводными лодками — только сверхдлинные волны, хоть с большими потерями, но все же проходят несколько метров сквозь толщу воды, и лодка может принимать информацию не всплывая.

На частотной шкале за сверхдлинными следуют хорошо знакомые всем длинные, средние, короткие волны и УКВ. Куски этих диапазонов отданы радиовещанию и телевидению, здесь также работают морская радиосвязь, милиция, радиолюбители, военные, сотовая связь (Т-311;00), пожарные, скорая помощь и другие службы. На дециметровых волнах частотной территории значительно больше, но и тут уже бывает тесновато. Особенно в больших городах, где на дециметровых волнах работают десятки телевизионных передатчиков и систем связи. Сейчас, правда, многие претенденты на радиочастоты уходят из эфира, в частности, во многих развитых странах больше всего телезрителей собирают десятки каналов кабельного телевидения.

Дальше идут сантиметровые волны, это основная территория радиолокации и специальных систем связи, затем следуют миллиметровые волны, применение которых нередко ограничено из-за заметного влияния атмосферных явлений. Ну а еще дальше — ИК, инфракрасные лучи, длина волны у них — от 2 мм до 0,00074 мм, то есть до 0,74 мкм (микрона). За этой границей начинается видимый свет, он занимает сравнительно узкую полоску — от 0,74 мкм до 0,4 мкм. А дальше идут частоты (длины волн), в основном интересующие физиков, а не радистов — ультрафиолетовые лучи (длина волны — от 0,4 до 0,01 мкм), рентгеновские лучи (вплоть до 0,00001 мкм). И, наконец, гамма-лучи — длина волны меньше 0,0001 микрона и, как говорится, далее везде. Реально регистрировались гамма-кванты, то есть порции гамма-излучения с длиной волны 0,000000001 мкм.

Все, что здесь было перечислено — от излучений с длиной волны в миллиардные доли микрона до сверхдлинных радиоволн, — все это, еще раз отметим, явление одной и той же физической природы. Все это

одинаково устроенные (Т-8) электромагнитные волны, по-разному, однако, взаимодействующие с окружающим миром. В числе общих признаков всех электромагнитных волн — высокая скорость, в вакууме — 300 000 км/с. Впервые эта скорость была измерена в опытах со светом и с тех пор так и называется — «скорость света», хотя вполне можно назвать ее «скорость радиоволн» или «скорость рентгеновских лучей».

42. Звезды, антенны и атомы (излучатели электромагнитных волн). Для начала уместно вспомнить, что электромагнитные волны самой разной длины появляются на свет без помощи челловека, в результате естественных, природных явлений — электрических разрядов, атмосферных процессов, химических реакций. Этим как раз и пользуется радиоастрономия (Т-311;50), регистрирующая электромагнитные волны, которые рождаются на далеких космических телах. Инженеры же создают электромагнитные волны своими методами. Длинные, средние, короткие волны, УКВ излучаются проводом определенной длины — антенной. В нее вводится переменный ток, который вырабатывается генератором с катушкой L и конденсатором C. На дециметровых волнах вместо LC-контура часто работают четвертьволновые отрезки двухпроводной линии или кабеля, в сантиметровом и миллиметровом диапазоне в дело вступают объемные резонаторы (Т-311;36). Чтобы получить инфракрасные световые и ультрафиолетовые лучи, приходится перейти в мир атомов и молекул — они излучают, если заставить их изменить свою энергию, например, перебросить электрон с близкой к ядру орбиты на более далекую (Т-305, Т-311;29). Рентгеновские лучи чаще всего получают, заставив электроны на большой скорости врезаться в металлическую пластину и резко отдать энергию в виде излучения. Гамма-лучи появляются при взаимодействии ядерных частиц, например, при развале ядра или при столкновении электрона с позитроном (частицы могут совсем исчезнуть, превратившись в гамма-кванты).

Взглянув «с высоты», мы видим безграничный океан электромагнитных излучений, бессчетные области их использования, удивительное многообразие способов излучения и приема. Электромагнитные волны пронизывают буквально все пространство — землю, воздух, огромный космос. Много вокруг нас излучений природных, естественных, но уже во много раз больше «синтетических», созданных человеком и, конечно, совершенно неотличимых по физической природе от «натуральных» электромагнитных волн. И, пожалуй, хорошо, что человек воспринимает их лишь в очень узком световом диапазоне — 0,4 мкм до 0,74 мкм. Иначе, наверное, можно было бы сойти с ума от всех этих сверхдлинных и сверхмикроволновых излучений, заполнивших мир.

43. Электронная схема, напоминающая о поступлении в институт (пороговые системы). Знакомство с электроникой полезно еще и тем, что помогает лучше понять многие явления, совсем от нее далекие, например, в сфере политики, экономики, да и просто житейские. Происходит это потому, что в электронных схемах и процессах наглядно видны очень важные закономерности, причем универсальные, то есть справедливые для огромного класса самых разных явлений. Один пример уже упоминался — колебания при принятии каких-либо решений (Т-91). Другой пример — пороговые процессы. Человек, планирующий купить телевизор за миллион рублей, уже много раз собирал близкую сумму, но все еще сидит без телевизора — миллионный порог он пока не преодолел. Настойчивый абитуриент дважды поступал в институт, но не набирал проходной балл. Лишь на третий раз он преодолел этот порог, и приемная комиссия сработала автоматически. Морские волны одна за другой набегают на гранитную стену набережной, но на самой набережной — сухо, ни у одной волны не хватило энергии, чтобы превысить порог — перевалить через стену.

В электронике пороговые системы встречаются довольно часто. Можно, например, постоянным смещением запереть электронную лампу или транзистор, и тогда их будет открывать только тот входной сигнал, который преодолеет этот порог. Примерно так при измерении радиоактивности выделяют импульсы тока выше определенного порога, а значит, частицы с опасно высокой энергией.

44. Можно, оказывается, пройти сквозь кирпичный забор (туннельный эффект). Представьте себе, что мы уменьшаем напряжение на полупроводниковом диоде, и ток, естественно, тоже уменьшается. И вдруг начинаются какие-то странности — напряжение уменьшается, а ток растет, напряжение растет, а ток уменьшается. На вольтамперной характеристике (Т-135) появляется, как его называют, падающий участок. Что это — нарушения закона Ома?

Бесспорно. Но каким образом? За счет чего?

Первопричина — так называемый туннельный эффект, одно из многих необъяснимых квантовых явлений. Они происходят в мире микрочастиц и микропорций энергии, эти явления детально изучены физикой, их используют в реальных электронных приборах. И все же квантовые процессы вполне можно назвать необъяснимыми — они никак не укладываются в рамки наших привычных представлений. Так, скажем, туннельный эффект можно сравнить с футбольным мячом, который, легко ударившись о толстую кирпичную стену, вдруг оказался по другую сторону этой стены, как бы прошел ее насквозь.

Изготовленный по особой технологии диод с туннельным эффектом называют туннельным диодом или, по имени его японского изобретателя, — диодом Ясаки. Падающий участок его вольтамперной характеристики соответствует отрицательному сопротивлению (если уменьшать напряжение — ток растет). Оно, как и положительная обратная связь (Т-170), может компенсировать потери в контуре, а поэтому туннельный диод используют в качестве усилителя или генератора в диапазоне СВЧ.

45. От радиотехники к оптике. Уже несколько десятилетий радиотехника движется в сторону все более коротких волн, то есть все более высоких частот. Теперь на этот путь вступила еще одна область электроники — компьютерная техника. Дело в том, что повысить скорость работы, а значит и мощность компьютера, можно разными способами. Можно увеличить порцию данных, которые за каждый такт (Т-272) продвигаются и обрабатываются в машине. Персональные компьютеры начинали с порций в 8 бит (Т-276), затем пошли 16-битные (16-разрядные) машины, 32-битные и теперь уже 64-битные.

Еще одна возможность поднять быстродействие: задачу особым образом разбивают на части и работают с ними одновременно в разных процессорах. Однако самый простой, во всяком случае самый очевидный способ — увеличение частоты тактового генератора (Т-272), а вместе с ней и скорости выполнения всех операций. В первых «персоналках» тактовый генератор выстреливал (Т-8) свои импульсы с частотой 200—500 кГц, сейчас уже стала обыденной частота тактового генератора 500 МГц. Вот-вот физики и технологи перейдут границу (даже подумать страшно!) в гигагерцы. Чтобы и дальше повышать тактовую частоту, нужно прежде всего улучшать параметры полупроводниковых приборов внутри интегральных схем. Некоторые физические процессы в них ограничивают увеличение рабочей частоты (Т-150) и сдвинуть эту границу не так-то просто.

46. Крупносерийное производство блошиных подков (фотолитография). Если вчитаться в лесковский текст, то окажется, что легендарный тульский Левша, подковавший блоху, имел дело с деталями размером в десятые и сотые доли миллиметра, то есть в сотни и десятки микрон. При этом он был один, другого такого мастера в мире не было. А сегодня тысячи мастеров миллиардами производят детали, размер которых уже не десятки микрон, а всего 1—3 микрона и даже меньше микрона. Прежде всего, конечно, речь идет о микросхемах. Способ изготовления любой микронной «мелкости» здесь невероятно прост: очертания будущих деталей рисуют достаточно крупно, а затем их уменьшают в нужное число раз с помощью «уменьшительного стеклышка» — с помощью обычных оптических систем. Так на каком-нибудь материале, например на пластине кремния, создаются контуры микроскопических деталей, пока еще чисто световые.

Итак, священнодействие нынешнего левши начинается с очень простого процесса — обычного оптического уменьшения. Но как перейти от нарисованной микродетали к живой, вещественной? Как превратить очертания блошиной микроподковы в саму микроподкову, которую, так сказать, можно взять в руки?

Превратить световое пятнышко в живую, осязаемую деталь тоже несложно. Делается это с помощью светочувствительных покрытий, таких же примерно, как эмульсия на фотопленке или фотобумаге. Свет производит в эмульсии определенные химические превращения, и там, где были световые пятнышки, появляются островки какого-то нового вещества. А затем еще один процесс — химическое травление: все светочувствительное покрытие убирают с помощью специально подобранных химических реакций, а засвеченные островки в эти реакции не вступают и поэтому остаются на местах. Или наоборот: все покрытие остается, а островки убирают (опять же химическим путем), создав окна, в частности, для введения примесей.

Вот так и работает фотолитография, которая начинается с главного процесса — с чисто оптического уменьшения будущей микродетали. Фотолитография давно уже

стала универсальным процессом, с ее помощью изготовляются не только электронные микросхемы, но чисто механические детали. Например, дырчатые маски для цветных кинескопов (Т-259) или микронасосы для струйных принтеров (Т-311;24).

47. Излучатели радиоволн учатся у прожектора (направленные антенны). Если, не вставляя лампочку в карманный фонарь, подключить ее к батарейке, то она будет одинаково хорошо светить во все стороны. Точнее, одинаково плохо — свет окажется размазанным по большому пространству, по всем направлениям, и каждому из них достанется очень маленькая порция энергии.

Другое дело рефлектор — мощность лампочки он, конечно, не увеличивает, но зато концентрирует ее, собирает энергию в сравнительно узкий луч, а другим направлениям свет вообще не достается.

То же самое делают и направленные антенны, они концентрируют энергию радиопередатчика, посылают ее в основном в одном направлении, не разбазаривают по всему свету. О том, насколько хорошо антенна концентрирует энергию радиоволн, говорит ее диаграмма направленности или коэффициент направленного действия — он показывает, во сколько раз мощность, излучаемая в главном направлении, больше, чем она была бы у абсолютно ненаправленной антенны. У некоторых антенн этот коэффициент достигает многих тысяч.

Без направленной передающей антенны трудно представить себе радиорелейные линии, где от одной станции до другой информация передается узким радиолучом и на это хватает мощности всего в несколько ватт. Узким радиолучом с Земли направляют телевизионные программы на спутник-ретранслятор. И, конечно, острую диаграмму направленности должны иметь радиолокаторы, чтобы «нащупать» отдельный самолет в небе или корабль в море.

Вертикальный провод, подключенный к радиопередатчику, излучает радиоволны по всем направлениям, это ненаправленная антенна. Направленность появляется у антенн специальной конструкции, например, у излучателя, расположенного в фокусе «тарелки», — параболического рефлектора. Или у нескольких полуволновых антенн, расположенных друг за другом и похожих на лесенку. Направленность антенны тем выше, чем больше ее размеры в сравнении с длиной волны. Поэтому на дециметровых и особенно на сантиметровых волнах сравнительно просто получить острую диаграмму направленности, а на коротких и особенно на средних волнах для этого нужно построить огромные антенные сооружения.

Направленность антенны проявляется не только при передаче (как у фонарика с рефлектором), но и при приеме: сигнал с главного направления принимается лучше, чем с других направлений. Это, в частности, позволяет снизить уровень шумов на входе приемника: направленная антенна принимает их в основном с одного направления, а ненаправленная — со всех сторон. И еще одна замечательная возможность: поворачивая направленную приемную антенну, ищут, в каком ее положении принятый сигнал будет самым сильным, и таким образом находят направление на передающую станцию. Это можно проделать и с обычным портативным приемником, в котором, как правило, используется магнитная антенна (Т-215), она лучше всего принимает с направлений, перпендикулярных ферритовому сердечнику антенны.

Направленные приемные антенны — основа радиопеленгации, радионавигации, радиоастрономии.

48. Стоит на месте и посматривает по сторонам (фазированные решетки). Проезжая мимо аэропорта, можно увидеть антенны с многометровыми овальными «тарелками», которые довольно быстро вращаются и одновременно покачиваются вверх-вниз. Это антенны аэродромных локаторов, они сканируют радиолучом воздушное пространство и дают возможность диспетчерам видеть на экране все самолеты в районе аэродрома.

Примерно тем же заняты вращающиеся антенны судовых локаторов, они рисуют на штурманском локационном экране очертания берегов и все суда, находящиеся в данном районе. Точное перемещение антенны, иногда довольно крупной, — задача непростая, для этого нужны мощный электропривод и сложные системы управления. В то же время есть неподвижные антенные системы, острый луч которых тоже сканирует пространство. Это, как их называют, фазированные решетки — расположенные в одной плоскости группы излучателей, получающих высокочастотный ток от общего передатчика. Но каждый излучатель получает этот ток по отдельной линии, причем у питающих высокочастотных токов можно менять фазу. Если все излучатели питать током синфазно, то есть без сдвига фаз, то радиолуч уйдет в пространство перпендикулярно плоскости, в кото-

рой расположены излучатели. Но радиолуч отклонится от этого перпендикулярного направления, если к какой-то группе излучателей подвести высокочастотный ток, опережающий по фазе другие питающие токи. Точно дозируя фазовые сдвиги для отдельных излучателей, можно перемещать радиолуч в пространстве вверх-вниз и влево-вправо, подобно тому, как в кинескопе магнитными полями перемещают электронный луч.

49. Действие переносится в космос (геркон). Немало неприятностей доставляют контакты реле и выключателей, особенно те, что работают в цепях с большим напряжением. При замыкании и размыкании контакты эти искрят, подгорают, окисляются, работают «через раз», а в итоге вообще перестают замыкать цепь. От этих недостатков свободен герметизированный контакт, сокращенно — геркон. Его пружинящие пластинки помещены в маленькую трубочку, воздух из которой либо откачан, либо заменен инертным газом. А в этом газе, как и в вакууме, контакты просто не могут искрить, подгорать или окисляться. Управляет контактами внешнее магнитное поле: если поднести к геркону магнит или пропустить ток через расположенную рядом катушку, то стальные контактные пластины притянутся друг к другу и замкнутся (либо разойдутся). Есть герконы, выполняющие замыкание, размыкание или переключение.

50. Шумы побежденные и непобедимые. Что такое акустический шум, особо пояснять не надо. Электрический шум — это столь же беспорядочное, хаотичное изменение электрического тока, которое происходит из-за самых разных физических явлений. Одно из них — неравномерность движения электронов: в какой-то момент в постоянном токе участвует 1000 электронов, через мгновенье — их уже 1005, затем — 998, 1002, 1007, 996 и т. д. Изменения, казалось бы, ничтожные, но из-за них получился уже не постоянный, а меняющийся ток. Его переменная составляющая как раз и есть шум, который вместе с сигналом проходит по всем усилителям и воспринимается как помеха — в приемнике, например, как неприятное шипение; в телевизоре к шипению добавляются мелкие мелькания, заполняющие экран.

Шумы имеют очень широкий спектр — от самых низких частот до самых высоких. Поэтому в спектре шума всегда найдутся составляющие, которые добавятся к полезному, настоящему сигналу — и к низкочастотному, и в средневолновом диапазоне или сантиметровом. Еще один важный вывод: чем более широкую полосу частот пропускает электронный аппарат, например, приемник, тем больше составляющих шума в него попадет, тем больше будет мощность шумовой помехи. Поэтому когда указывают уровень шумов, то нередко отмечают, к какой полосе частот он относится (например, какова мощность шумов на каждый килогерц или на каждый герц их спектра).

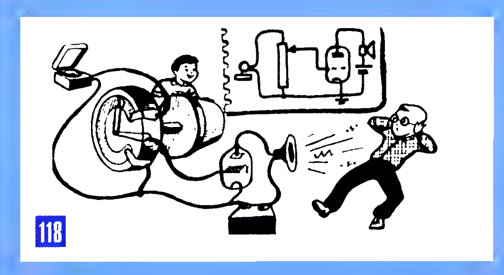
Достаточно сильный сигнал подавляет шумы, для слабого они особо опасны, так как усиливаются вместе с ним. Поэтому часто не говорят об уровне шумов, а называют соотношение сигнал/шум, обычно выражая его в децибелах (Т-82).

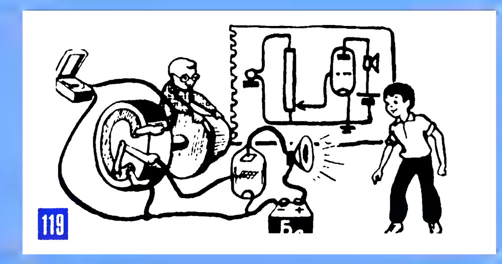
Из-за теплового движения атомов и молекул собственные электрические шумы появляются в любом проводнике, в транзисторе, электронной лампе, соединительном кабеле, антенне, словом, всегда и везде. Эти тепловые шумы (сами шумовые помехи — электрические, но причина их появления — теплота, тепловые движения атомов и молекул) должны исчезнуть лишь при температуре абсолютного нуля — минус 273°C. Практически невозможно одержать абсолютную победу над шумами, их можно устранить со сцены, лишь улучшая соотношение сигнал/шум.

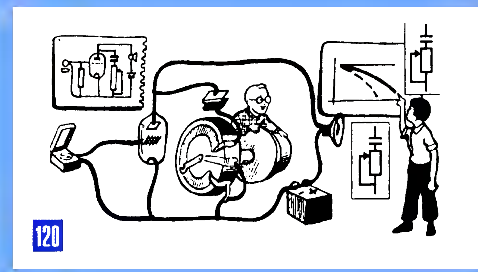
С учетом их теплового происхождения уровень шумов нередко измеряют не только ватами или вольтами (точнее, их миллиардными и триллионными долями), но и градусами Кельвина, то есть температурой, отсчитанной от абсолютного нуля.

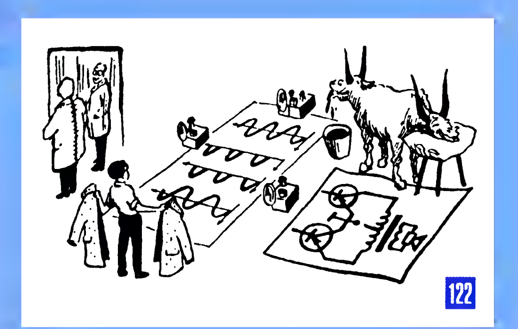
Существует немало способов снижения шумов. В их числе — создание специальных малошумящих усилителей, охлаждение входных цепей до сверхнизких температур, сужение полосы пропускания, переход на цифровые методы. Но есть уровень шумов, ниже которого опуститься нельзя, и есть шумовые источники, повлиять на которые мы никак не можем. Это Солнце, Луна, звезды, наша Галактика, все космическое пространство в целом. Приходящее из космоса беспорядочное шумовое радиоизлучение, как и собственные тепловые шумы приемной антенны, ограничивают возможности радиоастрономии в изучении слабых сигналов, пришедших к нам от далеких звезд.

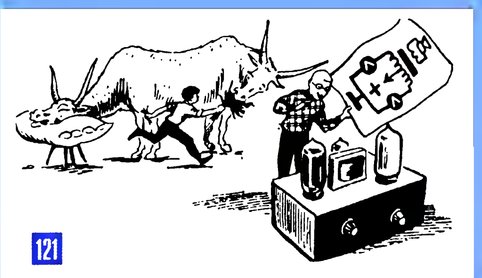
51. Бесплатное электричество из бесплатного света (фотоэлементы). В природе свет и электричество связаны во многих физи-

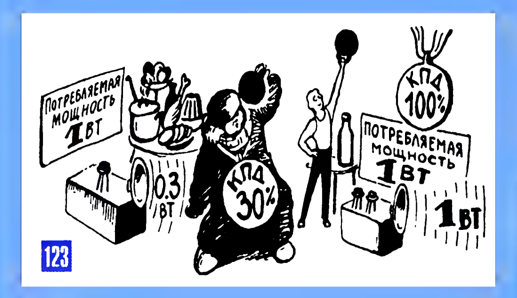

118

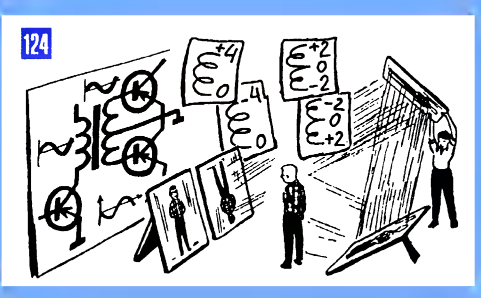

119

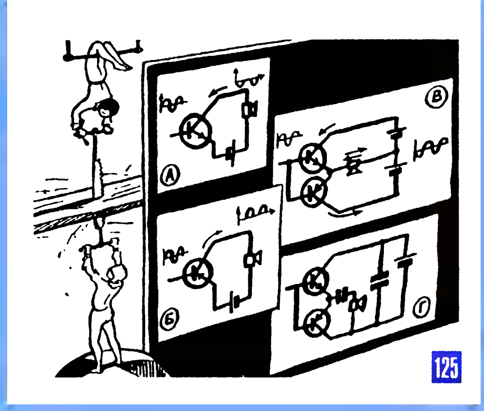

120


122


121


ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ 1ВТ
0,3 ВТ
КПД 30%
КПД 100%
ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ 1ВТ
1ВТ
123


124


А
Б
В
Г
125

ческих, химических и биологических процессах. Не говоря уже о том, что это явления одной и той же физической природы, свет — не что иное, как электромагнитная волна, только очень-очень короткая (длины волн — от 4 до 7,5 миллиардной доли миллиметра, частота — примерно от 750 до 400 миллионов мегагерц; для сравнения: коротким радиоволнам соответствуют частоты от 5 до 20 мегагерц). Несмотря на столь тесную связь, взаимодействие света и электричества начали изучать лишь в конце прошлого века, после того, как был обнаружен фотоэффект — электризация под действием света.

В общих чертах фотоэффект объясняется очень просто: порции (кванты) света в некоторых веществах выбивают из атомов электроны, и в результате либо растет число свободных электронов и падает сопротивление освещенного вещества (внутренний фотоэффект; выбитые светом электроны остаются в самом веществе), либо оно электризуется, что приводит к появлению электродвижущей силы (внешний фотоэффект; выбитые светом электроны вылетают из вещества, и у него появляется положительный заряд).

Именно внешний фотоэффект помогает превратить световую картинку в электрическую (ПЗС, ксерокс, лазерный принтер), и он же используется в силовых фотоэлементах для получения электроэнергии за счет бесплатного солнечного света. Когда в ясную погоду Солнце находится в зените, оно передает каждому квадратному метру земной поверхности примерно 1 киловатт световой энергии. Это довольно много, но, к сожалению, мы еще не научились по-настоящему использовать этот солнечный киловат. Во-первых, даже лучшие фотоэлементы имеют коэффициент полезного действия (КПД) около 30%, то есть из солнечного киловата получается лишь 300 ватт электрической мощности. Кроме того, Солнце не стоит на месте, ночью его совсем нет, немало световой энергии поглощает облачное небо. По этим и иным причинам многие проекты большой солнечной энергетики связаны с космосом. В одном из таких проектов огромные, километровых размеров солнечные батареи находятся на стационарной орбите (Т-307, Р-183) и чуть ли не 24 часа в сутки получают солнечный свет. Собранная ими энергия передается на Землю мощным радиолучом.

Кроме смелых проектов, у солнечной энергетики есть уже и реальные достижения. Так, большинство космических аппаратов, в том числе огромная орбитальная станция «Мир», исправно получают бесплатную энергию от фотоэлементов, собранных в солнечные батареи. Годами надежно работают небольшие наземные солнечные батареи, дающие электропитание водоподъемным насосам на пустынных пастбищах, установкам связи, плавающим морским буям, автоматическим метеостанциям. Наконец, миллионы, а может быть, и миллиарды фотоэлементов используются для питания микрокалькуляторов, приемников и другой портативной техники. Типичная солнечная батарея (лучше бы сказать — батарейка) для микрокалькуляторов состоит из четырех кремниевых фотоэлементов, соединенных последовательно. При среднем по интенсивности дневном освещении каждый фотоэлемент дает ЭДС около 0,3 В, а 4 фотоэлемента соответственно 1,2 В, обеспечивая ток до 2—3 мА. Этого вполне достаточно для микрокалькулятора. В приемниках используют более крупные фотоэлементы, рассчитанные на потребляемый ток до 10—20 мА. Во всех случаях за фотоэлементами следует стабилизатор напряжения, и при изменениях освещенности электронные схемы получают стабильное питание.

52. Охрана без изъяна (электронная сигнализация). Любую сложную электронную систему можно придумать самому, если понимаешь суть дела. Читатель мог бы и сам развлечься таким изобретательством, скажем, на примере охранной сигнализации.

Еще не так давно лучшим средством защиты от угона автомобиля был обыкновенный тумблер (К-14;14) — выключатель, спрятанный где-нибудь под приборной панелью. Уходя, водитель с его помощью просто разрывал цепь зажигания, полагая, что у угонщика не хватит времени, квалификации или просто желания, чтобы поднять капот и куском провода обойти разрыв.

Посмотрим, как можно улучшить эту простейшую электронную (точнее, пока еще только электрическую) охрану. Для начала возьмем двухполюсный тумблер или реле и с его помощью сделаем так, чтобы при попытке включения зажигания одновременно включался сигнал — это на тот случай, если злоумышленник все же включит зажигание обходным путем. Опытный похититель может быстро отключить автомобильный сигнал, и поэтому снабжаем электронного (электрического) сторожа звуковыми генераторами из нескольких разноголосых мультивибраторов с собственным, хорошо замаскированным громкоговорите-

лем. Дальше: вводим в схему защиты концевые выключатели (Р-151;5) дверей, багажника и капота — теперь при их открывании сработает сигнализация.

К звуковым сигналам тревоги добавим световые — подключим фары к системе защиты через «медленный» мультивибратор, который заставит их мигать, скажем, раз в 2—3 секунды. Чтобы сам водитель, открыв дверку машины, не поднимал весь этот шум, вводим реле времени (Т-268, К-20;4), оно включает сигналы тревоги не сразу, а через 10—15 секунд, в течение которых водитель успеет выключить сигнализацию. Есть и другой вариант: вводится маломощный передатчик с замаскированной антенной, он подает сигналы тревоги (разумеется, в разрешенном для этих целей диапазоне), и владелец автомобиля, если он не очень далеко, принимает их на специальный миниатюрный приемник. Есть системы, которые с угнанного автомобиля подают радиосигналы постам ГАИ.

Еще одна ступенька вверх — дистанционное включение и выключение сигнализации, например, с помощью миниатюрного инфракрасного (как у телевизора) или радиопередатчика и приемника, замаскированного внутри машины.

Существует бесконечно много возможностей совершенствования электронной защиты. Можно снабдить охраняемый объект датчиками (Т-263), которые заставят сигнализацию сработать в случае прикосновения или даже приближения к объекту. Можно предусмотреть отключение системы только по специальному секретному коду. Можно использовать и другие уже известные приемы и схемы, объединяя их в, может быть, еще не применявшиеся маленькие и большие хитрости.

Одно лишь плохо — в электронной защите понимают суть дела не только ее создатели, но и «взломщики», которые, когда им это очень нужно, находят способ нейтрализовать очень совершенную, например, банковскую электронную защиту.

53. Роботы рядом. Слово робот впервые появилось в романе «R.U.R.» Карела Чапека, и происходит оно от чешского слова «робота», что означает тяжелый, изнурительный труд (в отличие от слова «праця», которое соответствует русскому «работа»). Когда говорят робот, то имеют в виду машину в какой-то мере человекоподобную, повторяющую, в частности, действия работающего человека. Хорошей иллюстрацией здесь могут служить роботы-сварщики, собирающие столь сложное изделие, как кузов автомобиля. Большая и очень подвижная рука робота держит сварочные электроды, ее движениями управляет встроенный микрокомпьютер, и вообще роботы буквально напичканы электроникой. Действуя по отлаженной программе, робот мгновенно находит нужное положение своей руки и серией точечных сварок соединяет детали. По конвейеру могут идти разные модели, и робот выберет в своей памяти для каждой из них свою программу сварки. Кузов легкового автомобиля состоит из нескольких сотен штампованных деталей, с помощью точечной сварки их собирают сначала в крупные блоки (дверь, пол, крыло, крышка багажника, капот, боковина и т. п.), а затем из них собирают кузов. И все это на современном автозаводе делают роботы — их обычно около двухсот, они готовы в любой момент, получив новые программы, перейти на новую модель.

На автозаводе можно увидеть роботов разной специальности. Один, например, плавно перемещая руку с пульверизатором, слой за слоем наносит на кузов антикоррозийные покрытия и краску. Другой — четырьмя могучими лапами забирает со вспомогательного конвейера сразу четыре колеса, ловко ставит их на свои места, и тут подходят четыре другие руки и закрепляют колеса большими болтами.

Роботы как-то неожиданно быстро перешли со страниц фантастических романов на фабрики и заводы. Еще лет двадцать—тридцать назад над человекоподобной машиной посмеивались, показывали ее в кинокомедиях, не ждали реальной помощи от этого примитивного подражателя. И вот, пожалуйста, — многие тысячи железных работяг без устали вкалывают, освободив массу людей от однообразной, изнурительной работы. Произошло это в значительной мере благодаря успехам электронной автоматики. Но кроме этих человекоподобных работников нам уже очень давно, начиная с дрревнейших времен, помогают роботы, как бы замаскированные — они выполняют массу разных дел, прекрасно работают и при этом на человека-работника совершенно не похожи. Возьмите, к примеру, автомат, включающий с наступлением темноты уличное освещение, — он делает то, для чего пришлось бы держать в штате дежурного фонарщика. Другой пример — автомобильный стеклоочиститель: трудно представить себе состояние водителя, если бы во время дождя ему ко всему прочему пришлось бы вручную двигать «щетки» туда-обратно. И радиослуша-

телю не позавидуешь, если у него будет приемник без автоматической регулировки усиления — придется одной рукой поворачивать ручку настройки, а другой тут же регулировать громкость, чтобы не пропустить слабую станцию или, наткнувшись на сильный сигнал, не испугать соседей недопустимо громким звуком.

Современная техника, в том числе и электроника, создала в помощь человеку бессчетное множество исполнительных, неприхотливых работников (Т-261, Т-262), избавила нас от однообразной рутинной работы (вспомните хотя бы целую армию контролеров в метро, которых заменили автоматы; Т-261), изменив в нас самих, в нашей психологии, в самой нашей природе соотношение между человеком-роботом и человеком-Человеком.

54. Следящая система. Это один из немногих, к сожалению, случаев, когда русские слова сразу поясняют смысл термина: речь идет о системе, которая сама, автоматически за чем-то следит. Нужно, скажем, поддерживать в термостате температуру 30°С, и вводится в него следящая система, которая, если температура опустится ниже 30°С, включит подогрев, а если поднимется выше 30°С — охлаждение. Другой пример — система автоматической подстройки частоты, АПЧ (Т-311;00). Если частота генератора отклонится от заданной величины, то следящая система сразу же заметит это и изменит параметры колебательного контура именно так, чтобы частота контура вернулась к заданному значению.

Широко известна такая следящая система, как автопилот: самолет летит по прямой в направлении на приводную радиостанцию своего аэродрома. На нее настроен приемник с направленной антенной, и, когда курс правильный, сигнал на выходе приемника будет максимальным (или минимальным — это зависит от типа антенны). Если сигнал уменьшился, то, значит, самолет отклонился от заданного курса. Следящая система заметит это и подаст команду на привод управления рулем.

Здесь, правда, не все так просто (в попытке попроще пояснить суть дела сильные упрощения сделаны во всех наших примерах, в том числе и в этом). Если самолет отклонился от курса и сигнал на выходе приемника снизился, то в какую сторону нужно повернуть руль? Пока это не ясно — сигнал одинаково уменьшается при отклонении и вправо, и влево. Можно, конечно, пробовать слегка поворачивать руль и следить за тем, растет сигнал или уменьшается. А можно придумать и другие программы действий для следящей системы. В частности, иметь два приемника с антеннами, развернутыми на небольшой угол. В этом случае, если, например, при отклонении вправо сигнал падает в обоих приемниках, то при отклонении влево в одном из них он будет расти. Можно иметь одну антенну, но с механизмом небольшого поворота вправо-влево. Можно придумать и другие способы, а затем выбрать самый удобный: радиоэлектроника, как точная и красивая наука, умеет в любой ситуации сопоставить все варианты решений, точно взвесить и сравнить их достоинства и недостатки. В каком-то смысле радиоэлектроника — сама есть некая следящая система, настроенная на поиск оптимальных решений.

Хочется добавить, что само понятие ***следящая система*** употребляется в очень широком смысле, как, скажем, ***цепная реакция, релаксация, точка опоры*** и некоторые другие понятия, пришедшие в разговорный язык из научного.

55. Умножай и властвуй (ФЭУ). В ламповую эпоху все радисты прекрасно знали, что такое динатронный эффект. Сущность его вот в чем: когда электроны с силой ударяются в анод, они выбивают из него его собственные, как их называют, вторичные электроны, которые могут доставить массу неприятностей, двинувшись против анодного тока (Т-154). Однако, как это бывает и в науке, и в жизни, вредное явление научили выполнять полезную роль. В частности, вторичные электроны играют важную, можно даже сказать принципиально важную роль в работе передающей и приемной телевизионных трубок (Т-252, Т-254). На использовании вторичных электронов основана работа очень популярного вакуумного датчика освещенности — фотоэлектронного умножителя, ФЭУ.

Свет, направленный в ФЭУ, попадает на фотокатод и выбивает из него электроны — чем сильнее свет, тем больше их вылетает из фотокатода. Выбитые электроны сразу же притягивает первый динод, на который подан «плюс». Диноды в ФЭУ делают, по сути дела, то же самое, что и анод в электронной лампе, а их название связано с тем, что выбивание вторичных электронов называют динатронным эффектом. Поверхность динода имеет покрытие, из которого каждый попавший в него электрон выбивает несколько вторичных электронов. Всего в ФЭУ десяток-полтора динодов, и на каждый последующий подается

более высокое положительное напряжение. Поэтому выбитые из первого динода электроны летят ко второму, выбитые из второго — к третьему, причем из очередного динода выбивается вторичных электронов в несколько раз больше, чем в него попало. В итоге вся электронная лавина приходит к последней станции — к аноду. Общее усиление динодной части — до ста миллионов: когда свет выбивает из фотокатода один электрон, к аноду приходит 100 000 000 электронов. Используют ФЭУ для регистрации чрезвычайно слабых вспышек света, в частности, в ядерной физике.

56. С дороги робот не собьется (робокары). Это еще одна разновидность роботов — самоходные транспортные автоматы. В огромных заводских цехах эти тележки перевозят готовые детали или заготовки с одного участка на другой, причем работают без водителей и безошибочно ходят по многим разным маршрутам. Пути для робокаров проложены в виде широкой белой полосы на полу либо в виде находящегося под полом кабеля, который служит излучающей антенной маломощного передатчика. В первом случае с помощью фотоэлементов, во втором — с помощью приемника электромагнитных волн при обязательном участии следящей системы (Т-311;54), робокар движется вдоль проложенной «тропинки». При ее разветвлении машина поворачивает в соответствии с заданной программой.

57. То как зверь оно завоет, хоть беги и выключай (микрофонный эффект). При усилении речи с помощью микрофона и мощных громкоговорителей, случается, что звукоусилительная установка вдруг начинает сильно завывать, полностью заглушая голос оратора. Это — микрофонный эффект, самовозбуждение всей системы микрофон—усилитель—динамик. Усилительная установка превращается в генератор, как обычно, благодаря положительной обратной связи, в данном случае акустической: усиленный звук из громкоговорителя попадает в микрофон, и на какой-то частоте выполняются оба условия самовозбуждения — условие фаз и условие связи (Т-171). Чтобы не допустить микрофонного эффекта, применяют направленный микрофон, он принимает голос оратора и почти не слышит (Т-8) звуки со стороны, в частности, от громкоговорителя. И, конечно, верный способ погасить микрофонный эффект — регулятором громкости снизить усиление и уменьшить звуковую энергию, которая из-за акустической связи попадает из громкоговорителя в микрофон.

58. Искусственное эхо (линии задержки). Случается, что электроника призывает на помощь акустику, чтобы воспользоваться малой скоростью распространения звука — она почти в миллион раз меньше скорости электрического сигнала (скорости света). Помощь акустики нужна в тех случаях, когда необходимо на какое-то время задержать сигнал. Так, например, в цветных телевизорах при работе в стандарте СЕКАМ (Т-259) один из сигналов нужно задержать на 64 микросекунды. Нетрудно подсчитать, что свет, а значит, и электрический сигнал (скорость 300 000 км/с) за это время проходит около 20 километров и именно такой длины должен быть кабель, чтобы в нем получилась нужная задержка сигнала. Втиснуть такой моток кабеля в телевизор, мягко говоря, не очень удобно, намного проще применить акустическую линию задержки. В данном случае это стеклянная пластина длиной всего 5 сантиметров, с двумя пьезоэлементами на противоположных гранях. К одному из них подводится сигнал, и за счет пьезоэффекта (Т-311;38) в пластине появляются звуковые волны — копия входного электрического сигнала. Звук (точнее, ультразвук) идет по пластине и на другом ее конце, за счет все того же пьезоэффекта, вновь превращается в электрический сигнал. Звук распространяется в стекле со скоростью 4000 м/с (скорость звука в воздухе — 350 м/с, в воде — 1400 м/с), и ему нужны именно 64 микросекунды, чтобы 5 раз пройти туда-обратно пятисантиметровую стеклянную пластину. Иными словами, электрический сигнал на выходе стеклянной пластины на 64 микросекунды запаздывает по отношению к сигналу на ее входе, что как раз и требовалось от линии задержки в нашем конкретном случае.

Линию задержки можно встретить в самой разной специальной технике — в радиолокаторах, вычислительных машинах, автоматах. Но есть одно применение таких линий, с которым встречались миллионы людей, в том числе далеких от электроники. Это создание искусственной реверберации (в переводе с латыни — отражение), искусственного эхо. С помощью линий задержки в звуковоспроизводящей аппаратуре создается запаздывающий звуковой сигнал, он появляется через доли секунды после основного и создает интересные эффекты, в частности, звучание, характерное для большого зала.

59. Акустика плюс электроника. Звуковая линия задержки, лишь одно из творений новой научной области — акустоэлектроники. В сфере ее интересов масса замечательных взаимодействий электричества и звуковых волн разной длины. Это слышимый звук (официальная частотная граница 16 Гц — 20 кГц), инфразвук (частоты ниже 16 Гц), ультразвук (20 кГц — 1 ГГц) и гиперзвук (1 ГГц — 10000 ГГц). Тут же заметим, что в металлах, где акустические волны распространяются сравнительно быстро (со скоростью 5000 м/с), длина ультразвуковой волны доходит до 5 микрон ($5 \cdot 10^{-7}$ см), а гиперзвуковой — до 0,0005 микрона ($5 \cdot 10^{-8}$ см), что уже вполне соизмеримо с размером атомов. В воздухе длины акустических волн еще раз в 15 меньше.

Акустоэлектроника исследует очень тонкие и важные физические процессы, в частности, взаимодействие акустических волн с электрическими и магнитными полями и со свободными зарядами в твердом теле. Изучены: передача энергии от звуковой волны свободным электронам; усиление звука в кристалле за счет энергии электронов, которые под действием электрического поля смещаются в ту же сторону, что и звук; генерирование ультразвука и гиперзвука; особое поведение звука в слоистых структурах, в том числе в полупроводниковых; возникновение и поведение ПАВ — поверхностных акустических волн, они распространяются лишь в тончайшем слое на поверхности пьезоэлектрического кристалла; зависимость частоты звуковых колебаний от электрического поля, ускоряющего электроны; возникновение местных электрических токов при взаимодействии двух встречных звуковых волн; модуляция, детектирование и преобразование частоты звуковых колебаний. О том, насколько тонкие процессы при этом происходят, говорит хотя бы то, что многие из них связаны с колебаниями атомов в кристаллической решетке при прохождении звуковых волн.

В результате глубоких исследований появилось немало акустоэлектронных приборов (усилители, генераторы, фильтры, фазовращатели, линии задержки, резонаторы высокой добротности и др.), обрабатывающих электрические сигналы проще и эффективнее, чем электронные схемы. Приборы эти, особенно работающие на ПАВ, уже широко используются в радиолокации, дальней связи, в автоматике и вычислительной технике. В числе творений акустоэлектроники — акустический микроскоп. Он в ряде случаев позволяет увидеть то, что неразличимо в оптическом микроскопе, например, из-за одинаковой высокой прозрачности двух разных материалов.

А в телевизорах и приемниках уже давно появились пьезокерамические фильтры промежуточной частоты (Т-221), в которых создается резонанс для ПАВ. Эти фильтры настолько эффективны, что каждый из них заменяет чуть ли не десяток традиционных LC-фильтров с колебательных контуров.

Восхищаясь фантастическими достижениями микроэлектроники, мы обычно без особого почтения относимся к акустике. Ну подумаешь — обыкновенный звук. Но отношение это, конечно же, меняется, когда видишь, как в дело вступает высокочастотный звук. У него длина волны соизмерима с шагом кристаллической решетки. Так что не случайно «обыкновенный звук» стал объектом особого внимания фундаментальной физики. Уже и биологи проявляют к нему серьезный интерес, предполагая открыть важную роль гиперзвука в таинствах жизни.

60. Акустооптика. Это, по сути, одно из направлений акустоэлектроники (Т-311;59), выделившееся в самостоятельную область исследований и разработок. Если через оптическую среду пропускать свет и одновременно с ним звук, то можно получить ряд очень интересных эффектов. Высокочастотный звук, например, воздействуя на структуру ряда кристаллов, создает в них подобие дифракционной решетки, рассеивающей свет. В некоторых стеклах и монокристаллах с помощью звуковых волн можно создать фильтр, который из широкого светового спектра выделит узкую полосу частот, например, из белого света выделит чистый фиолетовый тон. Причем, меняя частоту звука, можно в широких пределах менять параметры фильтра, подобно радиоприемнику, настраивая его на нужную световую волну.

С помощью звука можно превратить кристалл в дифлектор — прибор, рассеивающий свет или меняющий направление светового луча. Угол отклонения света зависит от частоты звука, и, пользуясь этим, можно световым лучом сканировать пространство. Еще один результат глубоких исследований в акустооптике — процессор для обработки информации, записанной в световых сигналах. Этот процессор выполняет несколько сложных математических операций и в основном лишь названием похож на своего компьютерного коллегу, который производит разнообразные действия с цифровой информацией.

Появление акустооптики и ее успехи вполне закономерны: электроника, начав с полупроводниковых приборов, исследует и все больше привлекает к себе на службу тонкие физические процессы в твердом теле, где главные действующие лица — жестко связанные и свободные молекулы и атомы.

61. Микросхема по заказу. За каких-нибудь 20 лет до неузнаваемости изменился сам процесс создания новых электронных приборов и аппаратов. Раньше схемотехники (Т-311;64), предварительно нарисовав схему, собирали ее действующий макет из транзисторов, конденсаторов, резисторов и т. п. Затем макет отлаживали, готовили печатную плату, собирали и исследовали несколько опытных образцов. Окончательно утвержденный образец вместе с документацией передавали конструктору, который разрабатывал само устройство и внешний вид будущего прибора.

Сейчас уже мало кто создает новую схему из отдельных, дискретных деталей — промышленность выпускает большой ассортимент микросхем самого разного назначения и из них формируют нужную большую схему. Если когда-то нормальным считался аппарат, схема которого состояла из нескольких тысяч дискретных деталей, то теперь вместо них может понадобиться всего несколько микросхем. Более того — если серийные микросхемы вас почему-либо не удовлетворят, то в принципе можно заказать новую микросхему специально для вашего аппарата. Может быть, даже удастся весь его воплотить в одном кристалле.

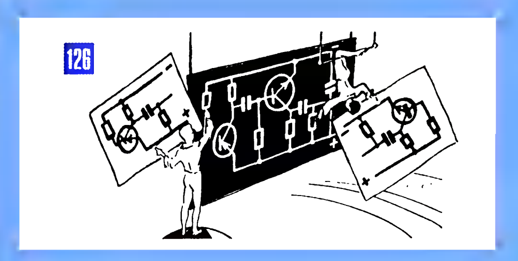
Создатели заказной микросхемы отработают ее, исследуют на макете и спроектируют топологию (от греческого *topos* — место) — размещение в кристалле всех элементов микросхемы. Затем продумают технологию ее изготовления и изготовят маски для фотолитографии. Все эти работы выполняются методами автоматического проектирования, и все же создание новой микросхемы требует большого объема работ. Но даже при этом разработать микросхему нередко оказывается проще и выгодней, чем создавать сложное электронное устройство из дискретных элементов, а затем налаживать его серийный выпуск.

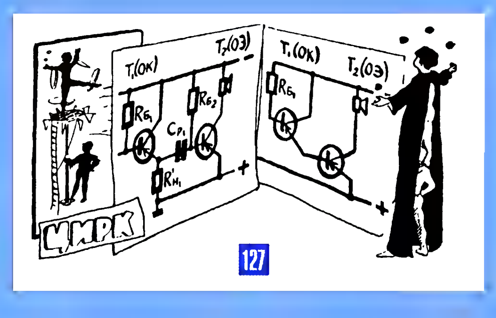
Часто заказную (или полузаказную) микросхему удается получить из серийно выпускаемой заготовки. Это кристалл с большим числом уже сформированных в нем элементов (транзисторов, диодов, конденсаторов, а также готовых схемных блоков), например, цепочек с логическими элементами И-ИЛИ-НЕ. Все это называется БМК — базовый матричный кристалл. Можно на компьютере сформировать из его элементов (их обычно несколько тысяч) нужную вам интегральную схему, здесь же проверить, как она будет работать и, записав все на дискету, передать ее изготовителям микросхем. По вашему заказу они изготовят из БМК нужную микросхему. Для этого чаще всего разрабатывают всего лишь один фотошаблон и в процессе одной фотолитографии (Т-311;46) наносят на кристалл токопроводящие линии.

62. От схем к системам. Если говорить в самом общем виде, то вся эта книга, подготовив определенный фундамент, рассказывает о схемотехнике — о создании конкретных электронных схем. На первых порах они, конечно, кажутся сложными, а может быть, и страшными, если, например, без привычки начинать рассматривать схему телевизора или приемника. Однако сделав самое главное — освоив язык электронных схем (Т-7, Т-34), поняв процессы в электрических цепях, привыкнув к их законам (главный из которых, конечно, закон Ома; Т-31, Т-33, Т-76, Т-78 и др.), постепенно начинаешь мыслить на этом языке. И уже не только понимаешь, что происходит в тех или иных блоках сложного аппарата, но и сам с легкостью можешь придумать схему, которая выполнит нужную обработку электрических сигналов. Многие тысячи людей, продвигаясь от простого к сложному, научились свободно мыслить на схемотехническом языке и могут сходу нарисовать сложную схему, причем так, что, если спаять ее, то она сразу заработает.

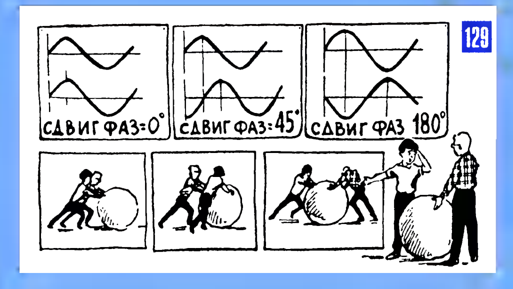
Очень часто понятие «сложная схема» уже не отражает того, с чем реально приходится иметь дело. Вряд ли можно на одном листе, пусть даже очень большом, нарисовать полную принципиальную схему персонального компьютера, если показать на ней все десятки и сотни тысяч элементов, из которых образован каждый чип (Т-311;63). Компьютер — это уже целая система из взаимосвязанных самостоятельных блоков.

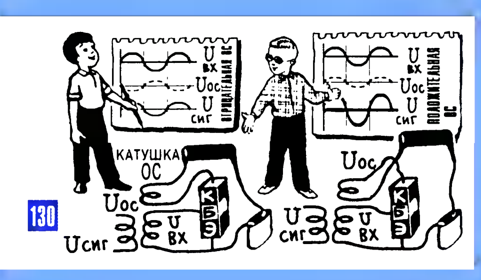
Слова «система» и «системотехника» стали конкретными терминами, которые, кстати, вполне понятно говорят, о чем идет речь. В качестве примера больших систем, насыщенных радиоэлектроникой, можно назвать комплекс противовоздушной обороны с локационными станциями, вычислительными средствами и радиоуправляемыми зенитными ракетами. Другой пример

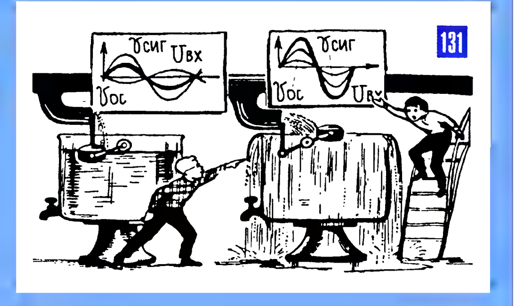

126

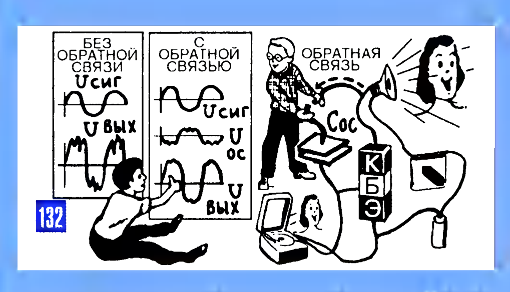

ЦИРК
T₁(ОК)
T₂(ОЭ)
Rб₁
Rб₂
Cр₁
R'н₁
127

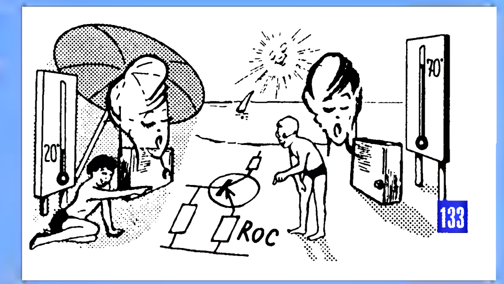

128
ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ (ВЫХОД-ВХОД)
ПРЯМАЯ СВЯЗЬ (ВХОД-ВЫХОД)
К
Б
Э


СДВИГ ФАЗ=0°
СДВИГ ФАЗ=45°
СДВИГ ФАЗ 180°
129


U вх
Uос
U сиг
ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ОС
КАТУШКА ОС
Uос
Uсиг
U вх
К Б Э
U вх
Uос
U сиг
ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ ОС
Uос
U сиг
U вх
К Б Э
130


Uсиг
Uвх
Uос
Uсиг
Uос
131


БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ
Uсиг
U вых
С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ
Uсиг
U ос
U вых
ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ
Сос
К
Б
Э
132


20°
70°
Rос
133

— система управления движением самолетов в крупном аэропорту. Или насыщенное роботами и управляемое компьютерами автоматизированное производство сложной техники, например, крупный автозавод. Десятки его цехов, конвейеров, складов должны работать как единый организм. И совсем уже огромная и при этом чисто радиоэлектронная система — сеть Интернет (Т-311;93), где сложным образом четко взаимодействуют миллионы компьютеров, многоканальные линии связи, в том числе спутниковые, электронные коммутаторы, огромные хранилища информации.

У системотехники — мощный теоретический фундамент и уже немало практических достижений. Касаются они не только радиоэлектронных, но и иных больших систем — производственных, оборонных, информационных, экономических и даже политических.

63. Из песни слова не выкинешь (чип). Как приятно и просто, когда научный или технический термин — слово родного языка, смысл которого понятен без пояснений. Возьмите, к примеру, такие термины, как ток, напряжение, скорость, мощность, проводник, емкость, заряд, усилитель, частота, нагрузка. Это не только приятно, но и удобно: не нужно объяснять, что *резистор* — это деталь, главная задача которой — оказывать сопротивление электрическому току, а само слово происходит от латинского *resisto* — сопротивляюсь. Нередко мы получаем уже готовый термин на «заграничном языке» и, постепенно привыкнув к нему, считаем своим. Примеры совсем рядом: резонанс, индукция, лазер, антенна, транзистор, трансформатор, электричество, триггер, мультивибратор, компьютер. И, наконец, бывает, что оба термина — русский и иностранный — прекрасно уживаются, и мы пользуемся обоими. Так, вместо *интегральная схема* или *микросхема* у нас часто употребляется короткое и поэтому удобное английское ***чип*** (*chip*), что в переводе означает осколок, ломтик. Скорее всего, имеется в виду ломтик кремниевой пластины, в котором создана микросхема. Нужно сказать, что западные специалисты легко и без предрассудков вводят удобные и образные термины, да и наши сейчас тоже в этой части не очень стесняются. Так, вместо *интегральная схема* специалисты нередко говорят не только *чип*, но и *корпус*, отмечая, например, что благодаря более высокой интеграции (Т-311;00) в компьютере вместо 200 корпусов стало 20 или что схема современного телевизора почти целиком укладывается в каких-то четырепять корпусов.

64. Электроника в оптическом королевстве (оптоэлектроника). Во все времена электроника имела дело со светом, вспомните оптическую фонограмму звукового кино, разнообразные автоматы с фотоэлементами или кинескоп, с помощью которого видеосигнал превращается в картинку. Все это, однако, относят к предыстории оптоэлектроники. Сейчас, научившись виртуозно управлять процессами в твердом теле и переместившись в мир молекулярных и атомных машин, электроника открыла совершенно новую эпоху взаимодействий со многими своими давними союзниками. В том числе и со светом.

Зародилась оптоэлектроника лишь сорок лет назад, и сегодня сложились три ее главных направления: фотоника — занимается формированием, обработкой, хранением оптических сигналов как носителей информации; радиооптика — взаимное обогащение радиофизики и оптики; оптроника — создание своего рода гибридных устройств, например, электронных схем с оптическими связями (Т-311;65).

Уместно напомнить, что слово «оптика», как и «свет», относится к очень широкому диапазону — от миллиметровых радиоволн до рентгеновских лучей (Т-311;41). В этом огромном световом (оптическом) диапазоне мы видим (в буквальном смысле слова, глазами) очень небольшой участок. Когда говорят именно о нем, то нередко подчеркивают: «видимый свет», хотя довольно часто в этом узком смысле употребляют одно слово «свет». Что же касается оптоэлектроники, то она проявляет интерес ко всем световым волнам, но в основном пока к инфракрасным лучам, с длиной волны 0,2—20 микрон. И в основном потому, что для этого диапазона проще получаются главные оптоэлектронные приборы. Из них наиболее известны: полупроводниковые лазеры, светодиоды, модуляторы света, приборы с зарядовой связью, жидкокристаллические индикаторы, оптические датчики ускорения, температуры, давления, разного рода приборы для обработки и хранения информации, в частности, оптические процессоры и запоминающие устройства. У оптоэлектроники уже немало практических достижений, она сделала свой вклад в создание компакт-дисков (Т-309, Т-311;71), систем дистанционного управления аппаратурой, например, телевизором (Т-311;), систем оптической связи (Т-311;72). Сегодня оптоэлектроника — это целый мир новых

идей, методов, приборов, значительно расширивших возможности электроники.

65. Световая парочка (оптрон). Это единый прибор, где излучатель, например, полупроводниковый лазер или светодиод направляет свет на расположенный рядом приемник излучения, например, фотодиод. Один из вариантов оптрона — оптоэлектронная пара. К ее излучателю подводится электрический сигнал, здесь создается его «световая копия», она попадает в светоприемник, и он возвращает все в исходное состояние — превращает световой сигнал в электрический. Зачем это нужно — из электричества в свет и тут же снова в электричество? Оптрон позволяет осуществить полную электрическую развязку, электрически разделить два каких-либо электронных блока — они теперь связаны только через свет. Полностью исключается обратная связь — свет не может двигаться от приемника к излучателю. Поставив на пути света управляемый оптический элемент, можно осуществить бесконтактное переключение электронных блоков или иное управление их работой. Есть оптроны, где производят достаточно сложные операции с электрическими и оптическими сигналами.

66. Передатчики работают на одной частоте, но не мешают друг другу (поляризация). Слово *поляризация* происходит от греческого *полос* — ось, производные которого *полюс, полярный* относятся к противоположным «концам» земной оси, то есть к географическим полюсам нашей планеты. В электротехнике поляризацией называют несколько схожих процессов. Один из них — разделение разноименных зарядов («плюс» и «минус») и их скопление на противоположных концах какого-либо предмета, например, пластмассовой палочки. Кстати, в похожем смысле говорят о поляризации общества, когда в нем формируются большие группы людей с противоположными взглядами.

Поляризация — важнейшая характеристика электромагнитных волн, она рассказывает о том, как направлены в пространстве их электрическая и магнитная составляющие и как меняется эта направленность. Электромагнитная волна может иметь горизонтальную, вертикальную, круговую и эллиптическую поляризацию. Чтобы строго пояснить эти названия, нужно ввести понятие о векторах напряженности электрического и магнитного полей. А можно поступить проще — сослаться на хорошо всем знакомое волнообразное движение веревки. По-разному покачивая ее, можно пустить по веревке волны с вертикальной поляризацией, горизонтальной и даже круговой. Это лишь отдаленно напоминает различную поляризацию электромагнитных волн, но все же напоминает.

Радиоволны могут быть поляризованы вертикально или горизонтально в зависимости от расположения передающей антенны. При этом для эффективного приема горизонтально поляризованной волны приемная антенна должна быть тоже расположена горизонтально. На длинных, средних и коротких волнах такое требование по ряду причин далеко не всегда справедливо, но уже в метровом диапазоне и особенно в дециметровом и сантиметровом на горизонтально расположенную антенну не очень-то примешь вертикально поляризованную радиоволну. Этим пользуются в спутниковых ТВ системах и на одной и той же частоте передают две разные программы: у одной — горизонтальная поляризация радиоволн, у другой — вертикальная. В наземной приемной антенне есть два облучателя (два улавливающих волну элемента) — вертикальный и горизонтальный. И принимает антенна только ту программу, у которой поляризация соответствует включенному в данный момент облучателю. Чтобы перейти с одной поляризации на другую, на крышу лазить не нужно — облучатели переключаются дистанционно, прямо с тюнера (Т-311;13), установленного рядом с телевизором.

67. Фотографируем без фотопленки (цифровая фотокамера). Получив видеосигнал в цифровом виде (Т-308), можно работать с ним, как с полноправным цифровым сигналом, в том числе хранить в обычных микросхемах памяти. Именно это и делают в цифровом фотоаппарате — с объектива картинка попадает в цветной ПЗС (Т-311;2), затем в АЦП (Т-308), превращается в «цифру» и, наконец, поступает в запоминающее устройство самого аппарата. Извлечь оттуда картинку на экран или на бумагу можно с помощью компьютера, или сразу распечатать на специальном принтере. Объем памяти электронной фотокамеры обычно рассчитан на 10—100 кадров. Память определяет и главную характеристику картинки — ее четкость. В самых простых камерах удовлетворились довольно низкой четкостью — 200 строк по 300 элементов (Т-256, Т-311;7), то есть 60 тысяч точек растра или, как их называют, пикселей. Но есть камеры, которые по четкости

уже могут конкурировать с фотографией — 3 и даже 5 тысяч строк и в итоге несколько миллионов точек (камеры так и называют мегапиксельные) . Обычно в цифровых фотокамерах используют сменную флеш-память — от 4 до 196 мегабайт.

68. Типография на столе (электронная полиграфия). Изготовление любой печатной продукции — газет, журналов, книг — складывается из двух частей. Первое: готовится, как его называют, оригинал-макет, точный образец будущей печатной страницы, или иначе — полосы. Второе: оригинал-макеты всех полос в конечном итоге (после ряда промежуточных операций) тиражируют, размножают в нужном количестве, сшивая их потом в книгу или журнал. Еще не так давно все это — и оригинал-макет, и тиражирование — делалось в типографии. Сегодня, как правило, ей оставляют только тиражирование, а оригинал-макет с помощью компьютерных систем готовят сами авторы и редакторы. И это очень удобно — редактор сам формирует полосу, сам доводит ее до совершенства, перебирая сколько захочет вариантов. И уже нет былых обменов с типографией промежуточными вариантами полосы, нет бесконечных замечаний, поправок, претензий. Чтобы компьютер освоил профессию полиграфиста, для него были разработаны специальные программы, а в память записаны точные описания нескольких типографских шрифтов. Компьютер позволяет выбрать любой из них, установить нужный размер буквы, ширину строки, расстояние между строками — интерлиньяж. Если немного текста не уместится на странице и несколько строк «повиснет», машина может сама втиснуть их, несколько уменьшив интерлиньяж.

Специальные компьютерные программы позволяют редактировать рисунки и фотографии, например, повышать их контрастность, подправлять или дорисовывать отдельные элементы, объединять несколько изображений, формировать новый рисунок из готовых элементов. Некоторые рисунки (чертежи, графики, схемы) вообще лучше делать на компьютере, они получаются более четкими и аккуратными. Масса новых возможностей появляется при работе с цветными фотографиями и рисунками. И главное вот что — простейшая компьютерная полиграфическая система много места не занимает — в буквальном смысле размещается на столе.

Иллюстрации вводятся в компьютер со сканера, с цифровой фотокамеры, с CD диска или из интернета и вместе с текстом выводятся на бумажный лист оригинал-макета (или сразу на пленку) с помощью лазерного принтера. Именно так были подготовлены к тиражированию все обновленные и новые полосы этой книги — с юмористическими рисунками и новыми разделами (Т-310 и далее).

69. Машина познания (ускоритель). Сегодня самые крупные и, пожалуй, самые дорогие научные приборы — это ускорители. Они создаются для исследования самых маленьких деталей материи — ядерных частиц. Главная «деталь» ускорителя — вакуумная камера, полуметрового диаметра труба, согнутая в огромное многокилометровое кольцо. В камеру порциями впрыскивают частицы, например, протоны, которые за несколько оборотов в кольце, подобно снаряду в стволе пушки, разгоняются до огромной энергии — она в миллионы раз больше, чем средняя энергия электрона, участвующего в нагревании нити электролампочки. «Снаряды» высокой энергии ударяют в атомные ядра неподвижной мишени или в другие «снаряды», летящие навстречу (ускоритель на встречных пучках). От страшного удара частицы разрушаются, их осколки разлетаются в разные стороны. Зарегистрировав эти осколки, их начальную энергию, отклонение в магнитном поле, траекторию, можно представить себе, из чего состояли столкнувшиеся частицы. Именно так, изучая искусственно созданные в микромире катастрофы, постепенно, шаг за шагом познают его секреты, навсегда, казалось бы, скрытые от нас. Именно так, кстати, было доказано, что протоны и нейтроны состоят из более мелких частиц — кварков (Т-17).

Ускоритель смело можно назвать сложной радиоэлектронной системой. Его вакуумная камера напоминает электронную лампу или телевизионную трубку, вытянутую в длину на 20—30 километров или свернутую в кольцо в виде гигантского бублика. Ускорение частиц осуществляется электрическим полем, для этого внутри камеры на равном расстоянии размещают сотни ускоряющих электродов. На них со специальных генераторов (по сути дела — это мощные радиопередатчики) подают переменное напряжение высокой частоты, оно подталкивает частицу-снаряд именно в тот момент, когда она проходит через ускоряющий электрод, — происходит резонансное ускорение. И для регистрации осколков ядра необходима электроника. С ускорителем состыкован детектор, не очень по-

хожий на знакомый полупроводниковый прибор: детектор ядерных частиц — размером с многоэтажный дом и весом в несколько тысяч тонн. В нем тысячи разнообразных датчиков, фиксирующих, куда и как полетел тот или иной осколок. Суммируя эту информацию, при каждом столкновении электроника извлекает из нее важные сведения и об осколках, и о самом столкновении, в котором они родились, и о столкнувшихся частицах.

Ну и, наконец, обработка результатов: приходится исследовать многие тысячи столкновений, пока найдешь среди них одно—два с неизвестными ранее подробностями. Такую работу, разумеется, может выполнить только электроника.

В мире всего несколько ускорителей-гигантов, но довольно много небольших и даже маленьких. Используют их не только для физических исследований, но и в медицине и в различных технологических процессах, в том числе и при создании микросхем со сверхмалыми деталями.

70. Домашняя фабрика компакт-дисков (оптический диск с перезаписью). Для начала коротко повторим и чуть-чуть дополним то, что уже было сказано о CD-компакт-дисках (Т-308, Р-185). Началось с того, что в начале восьмидесятых годов на них в цифровой форме стали записывать музыку, и сегодня CD очень сильно потеснили грампластинку — ежегодно в мире выпускаются чуть ли ни миллиарды компакт-дисков. В дальнейшем CD стал носителем информации для компьютера — много учебных и развлекательных программ выпускается на CD ROM (Т-311;31). В самом этом названии сделано предупреждение: Read Only Memory (ROM), то есть диск только для чтения, запись сделана на нем при изготовлении, раз и навсегда.

Кстати, изготовлен диск следующим образом: на заготовку диска наносят фоторезист (светочувствительный слой; Т-303, Т-311;46) и сравнительно мощным лазерным лучом ставят на нем микронных размеров точки в тех местах, где должны быть светоотражающие впадины (или выступы). Следующий шаг — диск-оригинал: после обработки (проявления) фоторезиста на всем диске в засвеченных точках остаются светоотражающие микроскопические углубления. В итоге с этого оригинала снимают металлический оттиск, и там, где в диске были впадины, на металлическом оттиске оказываются выступы. Так получают штамп, которым на разогретой и поэтому размягченной пластмассе печатают окончательный рельеф многих тысяч дисков с отражающими микроуглублениями, в которых и закодирован записанный сигнал. На получившийся рельеф наносят тончайший слой металла (чтобы лучше отражал свет), а затем защитный слой пластмассы.

За этим кратким описанием вполне может последовать вопрос: а нельзя ли пользователю самому записывать информацию на компакт-диск? Оказывается, можно, и существует два типа CD, к которым уже не относится дополнение ROM. Первый тип дисков — с однократной записью — записываешь сам, но только один раз, стереть эту запись и сделать новую уже невозможно. Второй тип — диск с многократной записью, на нем, как на магнитофонной ленте, можно сколько угодно раз менять записанную информацию.

В обоих типах дисков запись, как и считывание, производит лазерный луч. В одном из «одноразовых» дисков он выплавляет в специальной пластмассе небольшие светоотражающие ямки. В другой системе записи диск изначально покрыт тонкой металлической пленкой, и лазерный луч, слегка вспучив ее, создает светоотражающие выступы. В одном из вариантов диска с многократной записью лазерный луч в той точке, куда он попал, как бы разрушает кристаллическую структуру тонкого полупроводникового слоя, и в результате меняются светоотражающие характеристики этой точки — при считывании от нее пойдет более сильный отраженный луч. При стирании записи за счет более сильного нагрева кристаллическая структура восстанавливается. В другом варианте используют магнитооптические эффекты: в нужных точках меняют магнитные свойства нанесенного на диск специального покрытия; при считывании отраженный от этих точек свет изменит свою плоскость поляризации (эффект Керра); с помощью поляризационного фильтра можно сделать так, что только свет с такой поляризацией пройдет к светоприемнику. Стирание в данном случае может выполнить внешнее магнитное поле.

Легко увидеть, что в оптических дисках с перезаписью используют тонкие физические эффекты. И самое замечательное, что глубокое исследование физических процессов и отработка технологий превратили столь сложную систему, как магнитооптический диск, в общедоступную реальность. Установки для записи на оптические диски серийно выпускаются и легко встраиваются в обычный персональный

компьютер. На диск диаметром 12,7 см можно записатть примерно 1 гигабайт информации, почти в 1000 раз больше, чем на гибкий магнитный диск.

71. Из видеокамеры на бумажный лист. Мечта многих владельцев видеокамеры — распечатать на бумаге некоторые отснятые кадры, превратить их в «фотографию на память». С недавних пор сделать это несложно: в компьютер вставляется дополнительная плата, которая превращает стандартный видеосигнал (тот, что из видеокамеры подводится к телевизору при просмотре отснятого фильма) в цифровое описание, в «картинку», понятную любому принтеру. Теперь, просматривая свой фильм на компьютерном дисплее, вы выбираете нужный вам кадр и нажатием нескольких кнопок сначала записываете его в память компьютера, а затем посылаете на принтер. Точно так же можно распечатать кадры любого видеофильма, подключив к компьютеру обычный видеомагнитофон.

Некоторые фирмы дооподнили компьютерную плату обработки видеосигнала: ввели в нее полный высокочастотный блок телевизора с электронной настройкой на несколько десятков ТВ каналов. При этом компьютер стал ко всему еще и полноценным телевизором — подключай антенну и смотри.

72. Стеклянная нить вместо медного провода (световоды). Для передачи сообщений свет научились применять задолго до того, как к этой работе привлекли электрический сигнал. Еще древние люди разжигали сигнальные костры, а в самом конце XVIII века, почти за 50 лет до того, как американский художник Самюэль Морзе изобрел свой электрический телеграф, во Франции соорудили двухсоткилометровую линию светового телеграфа — сообщения передавались через несколько промежуточных станций с помощью условного семафорного кода.

Более ста лет электрическая связь — телеграф, телефон, радио — держала абсолютную монополию, оставив свету лишь такую экзотику, как корабельные сигнальные огни и флаги. Но лет сорок назад, где-то в середине пятидесятых, оптическая связь показала, что может конкурировать с электрической, и сегодня она одержала уже немало побед в этой конкурентной борьбе. Поначалу свет пытались использовать так же, как и радиоволны, — в открытом пространстве. Например, два московских телефонных узла соединили воздушным лазерным каналом связи, заменившим многопроводный кабель. Но со временем выяснилось, что лазерная связь через атмосферу не очень надежна, ей сильно мешают, а иногда и полностью нарушают ее дождь, снег и иные погодные неприятности. Такие системы связи прекрасно работают в стерильно чистом космическом пространстве, но на земле световой луч пришлось пустить по проводу, точнее, по световоду.

Современный световод — тонкое стеклянное волокно, оптические свойства которого меняются от центра к поверхности. Меняются они так, что свет, распространяясь вдоль волокна, как бы сжимается к центру, за пределы волокна не выходит и энергию свою почти не теряет. В итоге свет, не слишком сильно ослабляясь, проходит сотни километров. Если нужно передать световой сигнал на большее расстояние, в волоконную линию вводят промежуточные усилители, а чаще — регенераторы: как правило, передается цифровой сигнал и нужно лишь восстановить, регенерировать ослабевшие импульсы цифрового кода (Т-308).

В линиях оптической связи с ролью передатчика прекрасно справляется полупроводниковый лазер (Т-311;78). Для того, чтобы промодулировать лазерное излучение, нагрузить его информацией, меняют режим самого лазера либо ставят на пути света какой-либо электронно-оптический модулятор. А приемник на другом конце линии — обычный светодиод.

Электроника пока не уступила оптике и, видимо, не уступит в своем виртуозном искусстве работы с электрическими сигналами. К входу линии оптической связи подводится сформированный и обработанный электроникой электрический сигнал, рожденный в видеокамере, в микрофоне, в компьютере. И на выходе оптического волокна со светодиода получают для дальнейшего использования опять-таки электрический сигнал. А световодная линии — это всего лишь линия связи, способ преодоления пространства. И здесь ее достоинства велики настолько, что электрические конкуренты — кабельные или радиорелейные линии — почти всегда оказываются в проигрыше. Достаточно вспомнить об очень высокой частоте света, что позволяет без особых проблем нагружать его огромными объемами информации (Т-257). Здесь реально нет ограничений: если оптическое волокно придет в ваш дом, то по нему можно будет получать десятки теле-

визионных программ, компьютерные версии газет, журналов, книг, не говоря уже о телефоне и даже видеотелефоне.

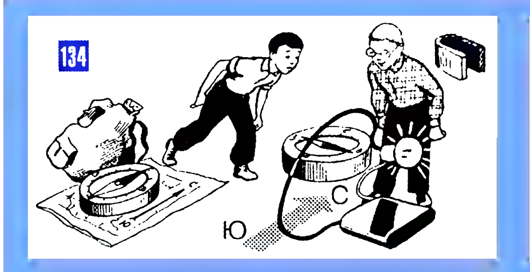
Другое важное достоинство: свет без усиления проходит по волокну десятки и сотни километров, а в электрическом кабеле, если по нему идут очень большие потоки информации, усилители, бывает, приходится ставить через каждые три—четыре километра. Далее: в широких масштабах заменяя провод стеклянным волокном, экономят тысячи тонн меди, не говоря уже о том, что световолоконный кабель намного легче электрического и укладывать его проще. Наконец, на световой сигнал не действуют электрические помехи, от которых так страдают линии электросвязи.

73. Хирургия без ножа (эндоскопия). Успехи волоконной оптики, в которых роль электроники достаточно велика, позволили создать телевизионную систему вообще без электроники. Ее основа — жгут из тончайших оптических волокон, каждое из них передает свой элемент растра, а все вместе они переносят картинку с одного конца жгута на другой. Телевизионная линия со световолоконным жгутом — основа прибора по имени эндоскоп (от греческого *эндо* — внутри), который дважды совершил революцию в медицине. Первый раз, когда он в деталях и реальных цветах показал врачам то, что они никак иначе не могли бы увидеть, например, в глубине кишечника или в мочевом пузыре. Второй раз эндоскоп сказал новое слово в медицине, когда его дополнили специальным дистанционно управляемым хирургическим инструментом и под контролем зрения научились выполнять сложные операции на внутренних органах, добираясь до них без традиционного большого разреза тканей. Добавив к эндоскопу видеокамеру и телевизионный монитор, можно оперировать, наблюдая за своими действиями на большом экране.

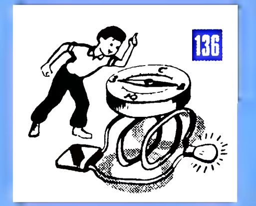
74. Говорящие машинки (звук, записанный в микросхемах). В последние годы появилось много развлекательных и обучающих электронных аппаратов, которые человеческим голосом говорят отдельные слова и целые фразы. Электронные словари, например, по запросу не только пишут на небольшом экране иностранное слово, но и произносят его. Даже электронные часы научили называть время — нажмешь кнопку запроса и слышишь: «Пятнадцать часов восемь минут...», «Пятнадцать часов девять минут...». Каким же образом в этих случаях воспроизводится человеческая речь? На миниатюрном проигрывателе со сверхминиатюрных грампластинок? Или с какого-нибудь микромагнитофона? Оказывается, что никаких движущихся механизмов для этого не нужно: звучание отдельных слов или их фрагментов, превращенное в цифровые сигналы, записано в обычной микросхеме памяти. Запись получается достаточно экономной, в наручных часах, например, все, что они должны произнести, умещается в цифровой памяти, занимающей около двух квадратных миллиметров на общей микросхеме. В нужный момент нужная комбинация цифр извлекается из памяти и с помощью ЦАП (Р-184) и миниатюрного громкоговорителя превращается в нужный комплект звучащих слов. Слова могут также синтезироваться из отдельных звуков, подобно тому, как в современном электро-музыкальном инструменте синтезируются нужные звуки (Т-311;10).

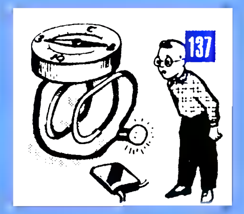
75. Ксерокс для Рембрандта (плотер). В большой компьютерной команде (принтер, дисковод и др.) есть установка, которая умеет по указанию компьютера рисовать большие чертежи. Это плотер, его цветные фломастеры с помощью шаговых двигателей свободно перемещаются по направляющим над большим листом бумаги. Попав в указанное компьютером место, барабан с фломастерами поворачивается, фломастер нужного цвета опускается, ставит точку, проводит линию (прямую, изогнутую, пунктир) или делает заданную надпись. Плотер работает в системах автоматического проектирования (САПР; см. Т-311;121) и выпускает готовые чертежи, например, для макетного цеха. Но иногда обходятся и без плотера: цифровое описание спроектированной детали конструктор прямо на дискете вводит в станок с числовым программным управлением.

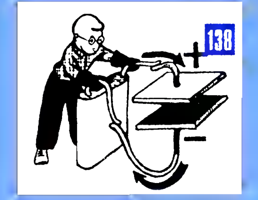
Другой тип плотера предназначен для воспроизведения больших цветных картин, например, рекламных щитов. Сначала на рулонной бумаге полутораметровой ширины так же, как и в ксероксе, создается электрическая картинка (Т-311;19,20), на которую затем «налипает» наэлектризованная жидкая краска. Процесс повторяют несколько раз с красками разных цветов и в итоге получают яркую многокрасочную картину. Главная и самая интересная деталь этого плотера — устройство для создания первоначальной электрической картинки. Ее рисует, прилегающая к бумаге гребенка из более чем 22 тысяч микроскопических электродов-иголочек (16 иголочек

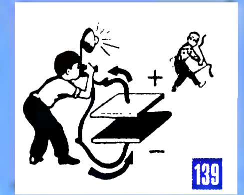

134
С
Ю

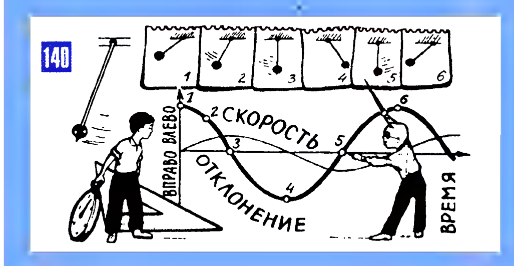

135
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ МАГНИТИКИ
КОЛЬЦЕВЫЕ ТОКИ

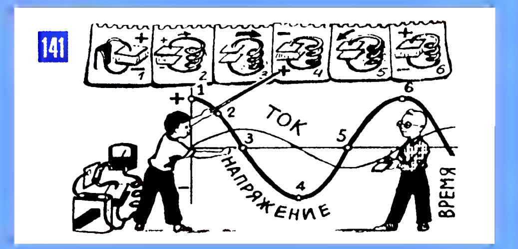

136

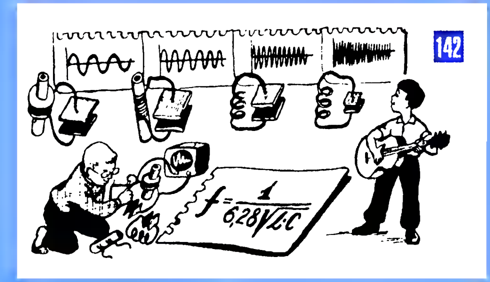

137

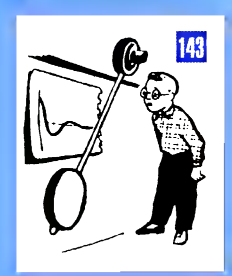

138
+
–

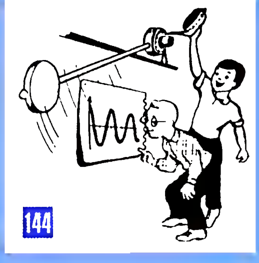

+
–
139

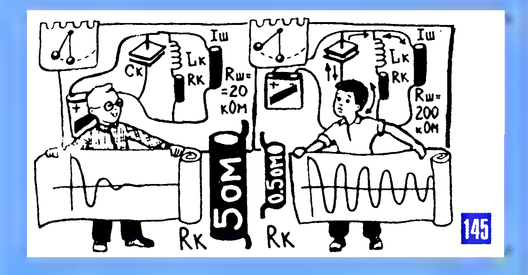

140
ВПРАВО ВЛЕВО
СКОРОСТЬ
ОТКЛОНЕНИЕ
ВРЕМЯ


141
ТОК
НАПРЯЖЕНИЕ
ВРЕМЯ


142
$f=\frac{1}{6{,}28\sqrt{LC}}$


143


144


Iш
Ск
Lк
Rк
Rш=20 кОм
5 Ом
0,5 Ом
Rш=200 кОм
Rк
Rк
145

на миллиметр ширины бумажного рулона), каждая из них получает отдельные команды от компьютера, формирующего всю картину. Это может быть композиция заново созданная на компьютерном экране, а может быть и просто слайд или цветная фотография, которые нужно увеличить до многометровых размеров. В дальнейшем готовую картину переносят с бумаги на пленку или на твердое основание, например, на стекло или на стену дома.

76. Требуется холодильник (криоэлектроника). С понижением температуры затихает суматоха (Т-8) в веществе, слабее, например, становятся колебания атомов в кристаллической решетке, спокойнее ведут себя свободные электроны. А это значит, что понижение температуры снижает собственные шумы электронных приборов (Т-311; 50). Поэтому в особых случаях, когда нужно выделить и усилить очень слабый сигнал, входные цепи усилителя (где слабый сигнал особенно слаб и может потеряться в шумах) помещают в жидкий азот, температура которого примерно минус 196°С (77,4К — градусов Кельвина; отсчет ведется от абсолютного нуля, то есть от нуля градусов Кельвина ОК = -273,2°С), в жидкий водород с температурой около минус 250°С (20,4К) или даже в жидкий гелий с температурой минус 269°С (4,2К), . Именно за счет снижения шумов в сильно охлажденных усилителях удается принимать чрезвычайно слабые сигналы от космических аппаратов, исследующих далекие планеты Солнечной системы на расстояниях в сотни миллионов километров от Земли.

Создание малошумящих усилителей — это лишь одно из реальных достижений криоэлектроники (от греческого криос — холод, мороз, лед), не говоря уже об огромном фронте ее научных поисков. Особенно много новых приборов и методов электроника получает при использовании сверхпроводимости — особого состояния проводника, при котором у него скачкообразно исчезает электрическое сопротивление. Пока используется сверхпроводимость некоторых сплавов (на основе металла ниобия), которая появляется при довольно низкой температуре — около 23К (минус 250°С). Но уже несколько лет ведутся обнадеживающие поиски веществ с так называемой высокотемпературной сверхпроводимостью, вплоть до комнатных температур, то есть вообще без охлаждения.

Уже сейчас криоэлектроника создала несколько замечательных приборов с использованием сверхпроводимости. В их числе сквиды — сверхчувствительные магнитные датчики, которые, в частности, позволяют получать чрезвычайно важную информацию, исследуя магнитные поля сердца и мозга. Большие надежды связаны с криотронами — сверхпроводящими элементами для переработки и запоминания информации с очень высоким быстродействием (сотые доли миллиардной доли секунды) и ничтожно малым потреблением энергии (миллиардная часть миллиардной доли джоуля). Глубокое охлаждение позволило резко улучшить важнейшие параметры транзисторов и микросхем. И, наконец, уже появилось или исследуется много совершенно новых приборов на основе удивительных физических эффектов, возникающих при сверхнизких температурах.

77. Сюрпризы черно-белой булки (гетеропереход). Русско-греческий термин гетеропереход (от греческого гетеро — много) относится к большой группе полупроводниковых структур и построенных из них приборов. Гетеропереход образуется в кристалле, если его начинают выращивать из одного вещества и в какой-то момент переходят на другое. Получается единый кристалл из двух разнородных частей, подобие единой булки, одна половина которой из ржаной муки, другая — из пшеничной. Гетеропереходы формируют из специально подобранных полупроводниковых пар, и это открывает совершенно новые возможности управлять движением свободных зарядов. Добавив в гетеропереходные структуры обычные донорные и акцепторные примеси (Т-129, Т-130), получают транзисторы, диоды, полупроводниковые лазеры и иные приборы с гетероструктурой, в том числе приборы принципиально новые.

Что может дать гетероструктура, хорошо видно на примере столь массового ныне прибора, как полупроводниковый лазер (Т-311;78). Если в обычном лазере для получения генерации нужно пропустить через каждый квадратный миллиметр pn-перехода примерно 200 ампер прямого тока (накачка), то в гетеролазере достаточно и 10 ампер (реально площадь лазерного pn-перехода очень мала и ток накачки измеряется миллиамперами; но из-за большой плотности тока pn-переход все равно сильно нагревается). И вот вам результат: если «до того» полупроводниковые лазеры работали лишь при сильном охлаждении (обычно до температуры жидкого азота — минус 196 градусов Цельсия; Т-311;76), то с использованием гетероструктур полупроводниковый лазер стал спокойно работать

при комнатной, то есть при нормальной плюсовой, температуре. Вряд ли стоит пояснять, что при этом у полупроводникового лазера началась, как говорится, совершенно новая жизнь: избавившись от громоздких охлаждающих установок, он стал доступным и массовым прибором во многих областях электроники и прежде всего в системах оптической связи.

Мировое лидерство в создании гетероструктур, их исследовании и применении принадлежит академику Ж. И. Алферову и его коллегам из крупнейшего российского научного центра — Санкт-Петербургского Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе.

Осенью 2000-го года работы Жореса Ивановича Алферова были отмечены Нобелевской премией

78. Полупроводниковый лазер. В предельно упрощенном виде этот замечательный прибор можно представить себе, как обычный полупроводниковый диод. Прямой ток создает накачку активного вещества в pn-переходе, то есть переводит атомы в возбужденное состояние (Т-305). Полученную энергию активное вещество отдает в виде когерентного излучения, когда атомы возвращаются на свой основной энергетический уровень. Напомним: именно когерентное, то есть согласованное излучение — главная особенность лазера. Оно получается благодаря тому, что все возбужденные атомы излучают одинаковую порцию энергии, причем излучают согласованно, как бы по единой команде. Поэтому и лазер выдает одну частоту (или группу очень близких частот), а не широкий спектр, как, скажем, лампочка накаливания или светодиод.

К упрощенному описанию полупроводникового лазера следовало бы сделать много важных дополнений. Хотя бы потому, что сегодня это не один какой-то прибор, а большой класс приборов, зачастую использующих самые разные физические процессы. И все же самый популярный из всех — инжекционный лазер, тот самый диод, где накачку производит прямой ток, впрыскивая (инжектируя) в активное излучающее вещество (зона pn-перехода) свободные заряды с хорошим запасом энергии.

79. Радиоволны, рожденные звездами (радиоастрономия). Наблюдательная астрономия — наука древняя, и несколько тысячелетий она наблюдает планеты и звезды, но только в диапазоне видимого света. А как же иначе? Наблюдать можно лишь то, что видишь.

Но вот в конце XIX века были предсказаны, а затем и получены в лабораториях электромагнитные излучения с более длинными и более короткими волнами (Т-311;41). А вскоре высказывается предположение: небесные тела, возможно, тоже излучают эти невидимые волны. Понадобилось, однако, немало времени, чтобы подтвердить эту гипотезу: только в 1931 году, да и то случайно, было обнаружено идущее от Солнца невидимое электромагнитное излучение —радиоволны с длиной волны 14,6 метра. Кстати, это был уже второй «случайный» вклад в прогресс радиотехники. В середине двадцатых годов европейские радиолюбители, случайно установив радиосвязь со своими американскими коллегами, обнаружили, что на тысячекилометровые расстояния могут распространяться не только длинные, но и короткие волны (Т-208; Р-121;2). До этого короткие волны считались диапазоном «ближнего действия».

Первый прием радиоизлучений Солнца дал начало развитию радиоастрономии, которая дополнила наблюдательную астрономию видимого света и довольно быстро собрала огромную информацию о Вселенной. Очень часто радиотелескопы «видят» то, что в обычном телескопе и не увидишь. Впервые это показало обнаруженное в 1946 году радиоизлучение от неизвестного ранее источника в созвездии Лебедь; лишь через много лет на том месте, откуда шло это радиоизлучение, в очень сильном телескопе удалось заметить звездочку.

Сам радиотелескоп — это чисто радиотехническое устройство: очень чувствительный малошумящий приемник с большой остронаправленной антенной. Чем больше антенна, тем острее ее диаграмма направленности, тем точнее можно определить место космического источника радиоизлучений или даже его контуры. Постройка большой антенны для радиотелескопа (она же нередко используется для связи с космическими аппаратами, для радиолокации, в частности планет, и иных целей) — дело дорогое и сложное. Так, скажем, антенная система самых больших радиотелескопов имеет чашеобразный металлический рефлектор («тарелку») диаметром 75 и даже 100 метров. При этом сложная, теоретически рассчитанная форма «тарелки» должна выдерживаться с точностью до долей миллиметра. Весит такой рефлектор тысячи тонн, нужны очень мощные и очень точные механизмы, чтобы поворачивать это

огромное сооружение, сканируя небо в поисках радиоисточника.

В звездах, планетах, галактиках, в межзвездном веществе радиоволны появляются в результате различных физических процессов. Например, из-за торможения электронов в магнитном поле они теряют энергию, выбрасывая ее (Т-8) в виде радиоизлучения. Создает радиоволны и движение плазмы на поверхности Солнца, подобно тому, как их порождает высокочастотный ток в передающей антенне или мощный ток в сверкнувшей молнии. А лет двадцать назад радиотелескопы обнаружили реликтовое (очень древнее) радиоизлучение. Оно появилось миллиарды лет назад, когда, после Большого взрыва, наша Вселенная из чрезвычайно плотного, горячего и компактного сгустка материи начала расширяться и расползаться, превращаясь в нынешнюю гигантскую и ажурную конструкцию.

Одно из самых любопытных открытий радиоастрономии — пульсары. В 1967 году крупнейший английский радиотелескоп наткнулся на регулярно приходящие из космоса серии телеграфных точек. Ученые долго не сообщали о своем открытии, полагая, что обнаружили сигналы далекой внеземной цивилизации. Однако теоретики вскоре предложили иную гипотезу, которая достаточно надежно подтвердилась. Пульсирующее радиоизлучение идет от очень плотной нейтронной звезды, которая быстро вращается и своим радиолучом «бьет» по Земле, создавая иллюзию телеграфных точек. За прошедшие годы в разных областях звездного неба обнаружили сотни пульсаров — звезд, от которых принимается импульсное радиоизлучение. Радиоастрономы уже создали сотни каталогов, куда входят открытые, изученные или изучаемые космические излучатели радиоволн.

Многие космические объекты излучают не только свет и радиоволны, но еще и инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи. Их приемом и изучением занимаются соответствующие разделы астрономии, например, рентгеновская и гамма-астрономия. Они имеют свои особые приемники излучений, у которых, однако, есть общая черта — все они обязательно используют приборы и методы электроники.

80. С мечтой о третьем измерении (планарная технология). Мы уже привыкли говорить «интегральная схема в кристалле», «твердотельная интегральная схема». Но на самом деле еще не научились создавать интегральные схемы в самом полупроводниковом кристалле, в его объеме. Сегодня схемы формируются лишь в очень тонком поверхностном слое очень тонкой (0,3—0,5 миллиметра) кремниевой пластины.

Элементы микросхемы формируются в кристалле послойно, всего таких слоев («этажей») бывает 4—5. Разнообразные методы создания многоэтажной микросхемы объединены общим названием — планарная технология, от английского *plane* (плэйн) — плоский. В кристалле формируется, конечно, не сплошной слой наподобие бумажного листа, а нечто больше похожее на кружево или даже на узор из отдельных невидимых точек и черточек — участков кристалла с разными электрическими свойствами. Все они чрезвычайно точно расположены в пространстве и, взаимодействуя с соседями или с «точками» и «черточками» из соседних слоев, становятся деталями микроскопических транзисторов, диодов, конденсаторов.

После того, как с помощью фотолитографии (Т-311;46) образованы окна для создания «деталей» (кавычки пришлось поставить потому, что речь идет не о деталях, которые можно отделить и, так сказать, взять в руки, а лишь об отличающихся по своим свойствам микроучастках единого кристалла), можно разными способами сформировать «детали» микросхемы. Например, с помощью диффузии (Т- ;) кристалл помещают в камеру с жидкой или газообразной примесью, и она через окна, подготовленные фотолитографией, проникает в «свои» участки верхнего слоя кристалла. Эпитаксия (от греческого *эпи* — над и *таксис* — расположение) — на открытые участки кристалла сквозь окна наращивают его разновидность с иными электрическими свойствами. Или на один тип полупроводника (например, с *p*-проводимостью) с помощью эпитаксии наращивают сплошной тонкий слой полупроводника с другими свойствами (с *n*-проводимостью) и после фотолитографии весь его убирают, оставив только нужные «детали». Еще один прием в планарной технологии — окисляют весь поверхностный слой кремния, а затем именно в нем формируют окна для эпитаксии или введения примесей. Окислы кремния — диэлектрик, из них можно сформировать изолирующие участки микросхемы. Есть немало других приемов, комбинируя их, получают много разных технологических схем для формирования сложной структуры.

По планарной технологии готовят дискретные (отдельные) диоды, транзисторы и

другие приборы. На пластине формируют большое количество одинаковых структур, затем пластину разрезают на мельчайшие квадратики и, снабдив каждый двумя (диод) или тремя (транзистор) выводами, помещают его в отдельный корпус.

Одна из стратегических задач всей суммы планарных технологий — дальнейшее уменьшение «деталей», что позволит втиснуть (Т-8) в один кристалл еще больше элементов и создать в нем более сложные схемы (Т-311;81). А еще нынешняя планарная технология ждет смены: специалисты уже давно думают о трехмерных схемах, то есть таких, которые занимают не поверхностный слой, а всю толщу полупроводниковой пластинки. Может быть, это будут планарные структуры, расположенные в несколько этажей и соединенные друг с другом внутри кристалла. А может быть, освоение объема пойдет по принципиально иному пути, вплоть до отказа от жесткого порядка кристаллов и перехода на аморфные (с неупорядоченной структурой) материалы. В любом случае выход в третье измерение — задача не из легких, физикам и технологам предстоит гигантская работа. Но их, говорят, вдохновляет возможность создать электронный умножитель человеческой памяти и даже усилитель интеллекта (Т-311;) размером, скажем, с записную книжку.

81. Детали, которые уже не видны в микроскоп (нанотехнология). Специалисты приняли такую классификацию микросхем:

Малые интегральные схемы, МИС. В такой микросхеме не более 100 отдельных элементов — транзисторов, диодов, резисторов и т. п.;

Средние интегральные схемы, СИС — до 1000 элементов в одном кристалле;

Большие интегральные схемы, БИС — до 10000 элементов;

Сверхбольшие интегральные схемы, СБИС — до 100000 элементов;

Ультрабольшие интегральные схемы, УБИС — до миллиона элементов;

Гигабольшие интегральные схемы, ГБИС — свыше миллиона элементов.

Чтобы увеличить степень интеграции, то есть увеличить количество элементов в кристалле, уменьшают размеры этих элементов. И возникает при этом немало проблем, назовем лишь три из них.

Проблема первая — отвод тепла. Каждый транзистор, диод или резистор микросхемы в течение какого-то времени пропускает ток, а значит, нагревается. И нужно сделать так, чтобы этот микроскопический элемент сумел отдать тепло, чтобы дело не дошло до перегрева, который столь губителен для полупроводников (Т-134, Т-162). Кроме того, нужно обеспечить отвод тепла от всего кристалла: если каждый элемент микросхемы выделит даже ничтожно малое количество тепла, скажем, десятую долю милливатта, то в большой микросхеме тепло будет вырабатываться и ваттами, и десятками ватт. Вот почему для охлаждения микросхем используют воздушное (вентиляторы) и даже водяное охлаждение.

Проблема вторая. По мере уменьшения элементов микросхемы в какой-то момент перестает работать фотолитография. «Детали» размером менее 1—2 микрон уже соизмеримы с длиной волны видимого света (0,4—0,8 микрона). При этом из-за дифракции свет огибает края линий на фотошаблоне, подобно тому, как морская волна огибает прибрежный камень (Т-208). В результате контуры «деталей» становятся недопустимо расплывчатыми, размытыми. Кстати, именно из-за дифракции света биологи не видят в обычном световом микроскопе «детали» размером меньше микрона.

Пытаясь сформировать в микросхеме детали размером меньше двух микрон, приходится для литографии вместо видимого света применять более коротковолновое излучение. Уже ультрафиолетовые лучи (длина волны 0,2—0,3 микрона) позволили продвинуться за микронную границу и выпускать микросхемы с «деталями» размером до 0,5 микрона. Уменьшить «детали» до 0,2 микрона удается с помощью электронной литографии, где вместо световых лучей будущие окошки в фоторезисте рисует сфокусированный пучок электронов. Наконец, литография с помощью рентгеновских лучей (длина волны 0,0002—0,005 микрона) выводит в область нанотехнологии, где «детали» столь малы, что их размеры принято указывать уже не в микронах, а в единицах, в 1000 раз более мелких — в нанометрах (1 микрон = 1000 нанометров; 1 нанометр = 0,001 микрона). С помощью рентгеновской литографии получаются «детали» размером меньше 0,1 микрона, то есть меньше 100 нанометров.

Проблема третья. Если в кремниевой микросхеме сформировать «деталь» длиной в 10 нанометров, то вдоль нее можно будет насчитать всего каких-нибудь два—три десятка атомов. А когда счет идет на атомы, то, во-первых, небольшой сравнительно дефект кристалла может полностью уничтожить одну или даже несколько «деталей» микросхемы. При очень высокой степени интеграции (а именно ради нее уменьша-

ют размеры «деталей») вероятность таких катастроф достаточно велика, и в какой-то мере именно это сдерживает дальнейшую миниатюризацию. Кроме того, в «деталях», образованных сравнительно небольшой группой атомов, начинают работать квантовые эффекты, которые могут нарушить привычный для полупроводниковой электроники ход процессов. Есть, правда, надежда, что, приручив эти эффекты, можно будет освоить принципиально новые методы работы с электрическими сигналами.

82. Радиотелескоп размером с земной шар (радиоинтерферометры). Большая антенна имеет два главных достоинства: первое — она собирает энергию радиоволн на большой площади, поднимает уровень принимаемого сигнала; второе — она имеет острую диаграмму направленности, позволяет до деталей прощупать источник излучения. Достоинства серьезные, и вполне понятно, почему в основном антенна и определяет возможности радиотелескопа. В стремлении к большой антенне радиоастрономы приспособили даже кратер потухшего вулкана Аресибо в Мексике, сделав его основанием для трехсотметровой «тарелки». Но если первое достоинство присуще только большой антенне, то второе можно получить некоторым хитрым способом. Две антенны разносят на большое расстояние, обе направляют на один источник, на обе одновременно принимают его излучение. И главное —сопоставляют и определенным образом математически обрабатывают принятые сигналы (разумеется, на компьютерах), прежде всего точно фиксируя сдвиг фаз между ними. В итоге получают чрезвычайно острую диаграмму направленности, ее определяют уже не размеры самих антенн, а расстояние между ними.

Радиотелескоп с одновременно работающими двумя или несколькими разнесенными антеннами называется интерферометром. Уже в первые годы после дебюта межконтинентальных интерферометров один из них, состоящий из трех радиотелескопов — в Крыму, на Западе США и в Австралии, — имел разрешающую способность 0,00005 угловой секунды. Если бы у человека было столь острое зрение, то он, находясь в центре Москвы, мог бы увидеть отдельные пылинки в воздухе какого-нибудь ее пригорода. Не так давно проводились эксперименты с интерферометром, одна из антенн которого летала на спутнике по околоземной орбите. И есть достаточно реальные проекты радиотелескопа размером чуть ли не с Солнечную систему — одну из антенн планируют установить на межпланетном аппарате. Так что радиоастрономия, уже обнаружившая во Вселенной массу интересного, совершенствуя интерферометры, еще скажет свое слово в исследовании тайн мироздания.

83. Кардиограф и другие (регистрация биопотенциалов). В каждом живом организме, в том числе в организме человека, происходит бессчетное количество разных химических реакций, в них участвуют мириады разнообразных молекул, значительная часть которых ионизирована (Т-19, Т-21, Т-27). А там, где есть ионы, там, где они накапливаются или перемещаются, там появляются вполне заметные электрические токи и напряжения. По этим токам и напряжениям (биотоки и биопотенциалы) нередко удается судить о состоянии организма и ходе некоторых процессов в нем.

Наиболее широко известна кардиография (от греческого *кардиа* — сердце) — регистрация переменных напряжений, которые возникают при сокращении сердечной мышцы. Человеческое тело — это своеобразная электрическая цепь из большого числа участков с разными сопротивлениями. Поэтому электрическое напряжение (биопотенциалы), которым сопровождается работа сердца, создав слабые внутренние токи, появляется и на поверхности, где их и регистрируют, приложив электроды к коже. Медики стандартизовали этот процесс, чтобы можно было сравнивать кардиограммы, полученные в разных клиниках: биопотенциалы снимают с помощью 12 электродов, приложенных к определенным точкам тела. После усиления отведенные сигналы записывают на бумажной ленте. Эти сигналы повторяются с каждым ударом сердца, и на них видны характерные участки (в частности, зубцы), которым медики дали свои обозначения — P, Q, R, S, T, V. По их форме и судят о работе самой сердечной мышцы и сердечных клапанов.

Для диагностики и в научных исследованиях регистрируют также биотоки, возникающие при сокращении скелетных мышц (электромиография) и при работе мозга (электроэнцефалография). С помощью микроэлектродов научились измерять даже биопотенциалы отдельной клетки, и это помогает понять сложные процессы, которые в ней происходят. Много интересного, в частности, узнали о том, как передаются, кодируются и обрабатываются бесчетные внутренние «телеграммы» организма — сложные электрохимические сигналы, име-

нуемые нервными импульсами. Они переносят собранную информацию и команды управления по нервным волокнам разветвленных внутренних «сетей связи», общая протяженность которых в человеческом организме — десятки километров.

Электрокардиограф, по нынешним меркам довольно простой прибор, его основа — чувствительный низкочастотный усилитель. Иногда к регистрирующим приборам добавляют достаточно сложные анализаторы, они сами оценивают характер изменения записанных биопотенциалов, помогая извлечь из них некоторую дополнительную информацию. Здесь уместно сделать специальное примечание для тех, кто полагает, что по биотокам мозга можно читать мысли. Эти биотоки лишь говорят об активности отделов мозга и представляют собой сумму сигналов, сопровождающих одновременную работу очень многих клеток. Из неразделимой суммы биотоков вряд ли когда-нибудь удастся прочитать конкретную мысль типа «хорошо бы мне завтра проснуться в 6 часов 30 минут». Тем более, что пока совершенно неясно, где и как зарождается, как кодируется и в каком виде хранится конкретная мысль. И, может быть, даже сигнал отдельной клетки тоже есть сумма сигналов, так как каждая клетка, возможно, своего рода отдельный компьютер в огромной компьютерной сети мозга.

Электроника входит в могучий союз наук, занимающихся исследованием электрических, магнитных и иных физических процессов в организме. В последние годы особенно возрос интерес к окружающим человека его собственным физическим полям — электромагнитному, тепловому, акустическому, химическому и другим. Интерес этот заметно подогревало желание выяснить, есть ли что-то реальное в сенсационных газетных сообщениях об искусстве экстрасенсов.

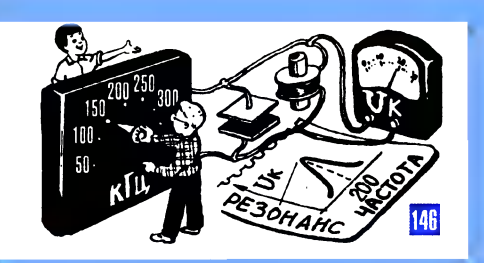
Исследования позволили обнаружить много интересных фактов и даже создать новые диагностические приборы. Так, с помощью своего рода миниатюрного радиотелескопа регистрируют естественные слабые радиоизлучения человеческого тела и по ним оценивают температуру отдельных внутренних органов. А с помощью сверхчувствительных датчиков регистрируют тепловые поля отдельных участков работающего мозга и слабые магнитные поля мозга, получая при этом очень важную информацию о них. Так, например, магнитный сигнал без каких-либо искажений проходит от сердечной мышцы к поверхности кожи, а на электрический сигнал на этом пути сильно влияют свойства тканей.

84. Как остановить автомобиль силой мысли (биоуправление). Электроника умеет собирать и выделять самые разные сигналы (биотоки, звуки, изменение температуры), сопровождающие дыхание, движение, охлаждение тела, работу сердца, сокращение мышцы. Некоторые из этих сигналов уже научились использовать для управления машинами и приборами. Так, скажем, в 1957 году в нашей стране сконструировали первый активный протез руки с подвижной кистью, которой управляют биопотенциалы, снимаемые с предплечья. Когда-то, до ампутации, они и несли руке различные команды управления, и именно эти команды научились использовать для управления протезом. Есть электронные системы контроля за состоянием больного, которые выделяют тревожные симптомы (например, уменьшение частоты пульса или понижение артериального давления) и не только подают медицинскому персоналу сигнал тревоги, но и сами мгновенно оказывают первую помощь, скажем, включая генератор для восстановления сердечного ритма.

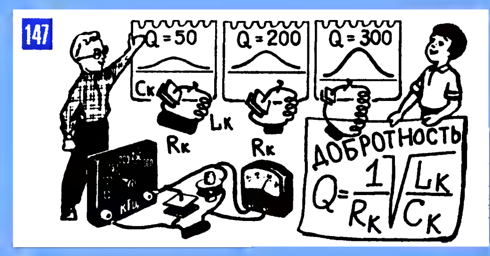
Известны успешные опыты по биоуправлению на летательных аппаратах. Когда из-за сильных перегрузок пилоту трудно пошевелить рукой, он мысленно дает руке команду нажать на кнопку, появляется соответствующий биоток и, после его усиления, на кнопки нажимает электромагнитный толкатель. Или еще проще: под действием усиленного биосигнала срабатывает реле и замыкает связанные с кнопкой контакты.

Системы биоуправления становятся все более разнообразными и надежными, перебрасывая в реальную жизнь сюжеты фантастических романов, где супергерои чуть ли не всем окружающим миром управляют, так сказать, силой мысли.

85. Телевидение бесплатное и платное. Телевидение — дело дорогое. Огромных денег стоит строительство телецентров, повседневная их эксплуатация, создание программ, их переброска из города в город по каналам дальней связи, в том числе спутниковым. А телезритель все это получает бесплатно. Правда, бесплатным, как известно, бывает только сыр в мышеловке — в итоге все безумные телевизионные расходы оплачивают налогоплательщики. При этом может нарушаться принцип справедливости — налоги платит даже тот, кто те-



КГЦ
50
100
150
200
250
300
UK
РЕЗОНАНС
200
ЧАСТОТА
146



147
Q=50
Q=200
Q=300
Ck
Lk
Rk
Rk
ДОБРОТНОСТЬ
Q=1/Rk √(Lk/Ck)



Loc
Ck
К
Б
Э
УСИЛИТЕЛЬ
Rk



Loc
Lk
К
Б
Э
УСИЛИТЕЛЬ
Rk



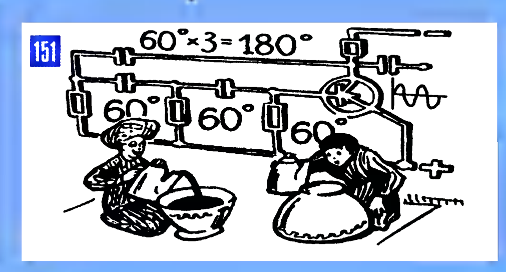
148
Loc
К
Б
Э
Rk=0
Rk
ГЕНЕРАТОР
УСИЛИТЕЛЬ



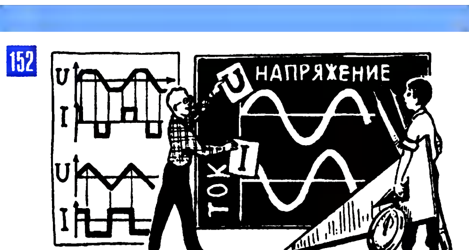
149
f = 1 / 6,28 √LkCk
200кГц
300кГц
500кГц
Ck
Lk
480
576
384
288
240
192
144
Гц
ГЕРЦЫ
СТРУНЫ ГИТАРЫ



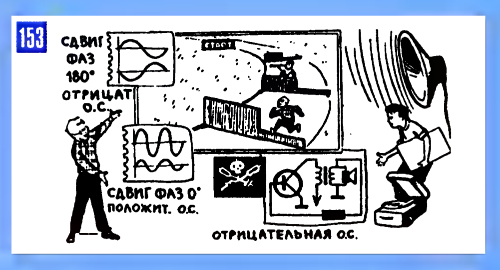
НЕ ТА ФАЗА
Loc
Lk
Ck
К
Б
Э
СЛАБАЯ СВЯЗЬ
150



151
60°×3=180°
60°
60°
60°



152
U
I
U
I
НАПРЯЖЕНИЕ
U
ТОК
I



153
СДВИГ ФАЗ 180° ОТРИЦАТ. О.С.
СДВИГ ФАЗ 0° ПОЛОЖИТ. О.С.
ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ О.С.

левизор не смотрит и смотреть не хочет. И вот появляются «маленькие хитрости», которые позволяют получить с телезрителя живые деньги и именно за то, что он хочет посмотреть. Так, за границей во многих гостиницах администратор только за дополнительную плату пустит в ваш номер кабельную программу детективных или иных развлекательных фильмов. В городах существуют целые сети платного кабельного телевидения — надо платить за само подключение к сети или за получение некоторых ее программ. И даже за эфирные программы удается собирать деньги: некоторые из программ особым способом закодированы и в обычном телевизоре создают лишь непонятное мелькание экрана. Для того, чтобы увидеть такую программу, приходится (разумеется, не бесплатно) вставить в свой телевизор специальный декодер, который превратит закодированную программу в нормальный видеосигнал.

86. Возвращение к волшебной лампе. Каждый, кому пришлось иметь дело с электронными лампами, наверняка сохранил к ним привязанность, не утратил уважения к этому солидному физическому прибору. Сквозь стеклянный баллон (очень много ламп, правда, выпускалось в металлическом баллоне со стеклянным донышком, через которое проходили выводы электродов) хорошо видны замысловатые металлические детали — сетки, спирали, пластины, короба, цилиндры. И видишь, как при включении лампы светится ее катод — лампа живет, электроны работают. Может быть, именно подобные ностальгические настроения привели к тому, что особо модные и дорогие усилители для высококачественного звуковоспроизведения (его нередко обозначают аббревиатурой HiFi, что произносится «хифи» и означает *High Fidelity* — высокая, безукоризненная верность воспроизведения) собраны не на транзисторах, а на электронных лампах, включая мощные выходные триоды. Авторы и производители этих ламповых шедевров, конечно, говорят, что дело не в ностальгии, а в том, что ламповый усилитель дает более мягкий, более естественный звук.

Кстати, электронные лампы, или, лучше сказать, электровакуумные приборы, сохранили за собой в радиоэлектронике несколько крупных территорий. Некоторые, судя по всему, надолго. Это мощные высокочастотные усилители в радио- и телевизионных передатчиках. Здесь встречаешь метровых размеров лампы с водяным охлаждением, каждая из которых обеспечивает выходную мощность 50, а то и 100 киловатт (заметьте: речь идет не о ваттах, а о киловаттах). Уже несколько десятилетий особые электровакуумные усилители и генераторы работают в СВЧ-диапазоне. Это главным образом три семейства приборов: клистроны (входной сигнал меняет скорость электронов, и на сравнительно длинном своем пути они группируются в сгустки, которые отдают выходному резонатору свою энергию; лампы бегущей волны, ЛБВ (пучок электронов и электромагнитная волна двигаются в одном направлении «друг в друге» и, взаимодействуя, обеспечивают усиление сигнала, в итоге за счет энергии ускоренных электронов; магнетроны (катод окружен массивным металлическим анодом, а в нем несколько полостей — объемных резонаторов (Т-311;36); электронные потоки возбуждают в этих резонаторах электромагнитные колебания и отдают им свою энергию; мощность в непрерывном режиме — до нескольких сотен киловатт).

Специальные транзисторы в чем-то уже могут конкурировать с вакуумными СВЧ-усилителями и генераторами — некоторые из них уже вошли в гигагерцовый диапазон (сантиметровые волны) и выдают вполне ощутимую мощность. Но там, где нужны сотни ватт и тем более киловатты, там электровакуумным приборам еще предстоит работать и работать.

87. Очень интересные картины, нарисованные термометром (тепловизор). Мы с вами видим, воспринимаем глазом, не что иное, как электромагнитные волны, только в диапазоне от 0,4 микрона (фиолетовый свет) до 0,8 микрона (точнее, 0,78, красный цвет) — это выбор Природы. И выбор правильный, не случайный — именно в этом диапазоне Солнце излучает особенно сильно, ярко освещая Землю. И все, что мы видим днем — лес, речку, лицо приятеля, котенка, пронесшийся мимо автомобиль, — все это картины, созданные отраженным солнечным светом. Ночью Солнца нет и мир погружается в темноту. Сами окружающие нас предметы тоже излучают, но в основном в инфракрасном диапазоне, а инфракрасные лучи наш глаз не воспринимает. Вот поэтому темной ночью мы ничего не видим, хотя все вокруг заполнено излучением. Все очень просто — это не то излучение, которое мы умеем видеть. Как говорится, Федот, да не тот.

Человек, понимающий возможности и методы электроники, даже не зная того, что уже сделано, легко придумает, как увидеть

невидимый инфракрасный мир: нужно найти светоприемник, чувствующий инфракрасное излучение, сформировать с его помощью видеосигнал, а уже его с помощью кинескопа превратить в видимую картинку.

В приборах ночного видения поступают еще проще. Невидимое инфракрасное излучение с помощью объектива создает картинку (опять же инфракрасную) на специальном фотокатоде; он испускает электроны именно под действием инфракрасных лучей, и, чем ярче освещена какая-либо точка фотокатода, тем больше электронов она выбрасывает. Таким образом, принятая инфракрасная картинка воспроизводится в большом числе параллельных электронных потоков. Их ускоряют электрическим полем и направляют на небольшой люминесцентный экран, примерно такой же, как в телевизоре. Ударившись в люминофор, электроны заставляют его светиться, но уже видимым светом. В итоге на экране появляется нормальная картинка, достаточно точно повторяющая инфракрасную.

А вот в тепловизоре реализована придуманная нами схема. Для начала светоприемник инфракрасного излучения тем или иным способом сканирует рассматриваемый объект (Т-311;21), на выходе появляется нормальный видеосигнал (слово «видео» здесь относится к невидимой для глаза инфракрасной картинке). Затем следует видеоусилитель и сигнал вместе с синхронизированной разверткой поступает на кинескоп, где невидимое превращается в видимое. Приемником обычно является специальный светодиод (чувствительный к инфракрасному свету), а развертку производят механическим способом, например, быстро покачивающимся зеркальцем. Тепловизор создается не для того, чтобы рассматривать невидимые ночные пейзажи, это прибор для исследования тепловой картины, скажем, на корпусе ракеты или на поверхности человеческого тела.

Чаще всего с помощью специальных электронных схем тепловую картину отображают условными цветами: все участки с температурой +20°С, например, на экране кинескопа закрашены синим цветом, +21°С — зеленым, +22°С — желтым, +23°С — красным и так далее. Цвета эти именно условные, никакого отношения к цветам истинной картины они не имеют. Несколько цифр, поясняющих возможности современных тепловизоров: на расстоянии 15 километров можно заметить участки, температура которых отличается от окружающей среды всего на 1°С; на небольших расстояниях воспроизводится тепловая картина с деталями до 0,5 миллиметра; фиксируется разница температур до 0,1°С.

Тепловизоры уже открыли человеку массу интересных явлений в природе и в машинах, особенно много интересного они показали врачам и биологам. Они увидели, в частности, как активно наполняются кровеносные сосуды руки после того, как она получила команду поднять какой-либо предмет. И как по-разному меняется температура отдельных участков мозга, когда он решает те или иные задачи.

88. Нажимать на кнопки намного удобнее, чем вращать ручки (дистанционное управление). Еще не так давно, чтобы в приемнике найти нужную станцию, мы вращали ручку конденсатора настройки, чтобы усилить звук — ручку регулятора громкости. А для смены программ в телевизоре нужно было приложить немалое усилие и повернуть барабан переключателя каналов. В современной аппаратуре все делается легким нажатием кнопок, причем чаще всего с расстояния — на пульте дистанционного управления.

Это стало возможным потому, что на смену механическим деталям пришли чисто электронные. Вместо переключателей с подвижными контактами прекрасно работают ближайшие родственники транзистора: подашь на него запирающее напряжение — и цепь разорвана, «контакты» разомкнулись. С обязанностями переменного резистора также справляется транзистор, а конденсатор переменной емкости с поворотными пластинами окончательно заменен варикапом — это специальный полупроводниковый диод, емкость которого зависит от приложенного напряжения (Т-136).

Как говорится, дальше — больше, в дело включились цифровые схемы. В телевизоре, в частности, определенный цифровой код присвоен включению каждой из трех катушек селектора (в грубом переводе — выбирателя) телевизионных программ. Коды присвоены каждому уровню напряжения на варикапах селектора. Теперь, чтобы выбрать нужную телепрограмму, нужно подать в цифровой блок селектора всего два кода: первый код включит нужную катушку (одну из трех), второй код подаст нужные напряжения на варикапы. Именно выбранные цифровыми кодами индуктивность L и емкость С контуров селектора (входного и гетеродинного) настроят телевизор на нужный канал.

Но раз мы ввели в действие цифровой код, то можно и памятью воспользоваться: настроился на определенный канал — запиши в память коды, соответствующие этой настройке. И подключи занятые этими кодами ячейки памяти к свободной кнопке. Теперь, нажав на эту кнопку, вы выберете нужные ячейки памяти, они выдадут необходимые коды, а они включат нужную катушку и подадут на варикап найденный вами при настройке уровень напряжения. И вот вам результат: нажали на кнопку — и сразу же включился желаемый канал. Подобным же образом можно плавно регулировать, например, громкость или яркость. Одной кнопкой (+) вы выбираете код, который включает электронную схему, которая увеличивает ток через транзистор, который играет роль переменного сопротивления, которое увеличивает уровень сигнала в усилителе НЧ, то есть повышает громкость. Другой кнопкой (-) через ту же цепочку «который» вы уменьшаете ток через транзистор и снижаете громкость.

Теперь уже недалеко до последнего торжественного аккорда — до пульта дистанционного управления (по-английски — *remote control*). В пульте есть маломощный передатчик инфракрасных лучей, а в самом телевизоре (видеокамере, видеомагнитофоне и др.) их приемник. Нажимая на ту или иную кнопку пульта, вы извлекаете из его памяти и посылаете в телевизор соответствующий код (есть более простой вариант, но сути дела он не меняет), а дальше все разворачивается по описанному выше сценарию.

89. Остросюжетные рассказы про волны и фазы (голография). Словосочетание «переменный ток» означает, что ток меняется во времени — в данный момент, скажем, он составляет 5 ампер, через мгновение — 7, затем 8, а еще через несколько мгновений ток начинает уменьшаться, проходит через ноль и становится отрицательным, течет в обратную сторону (Т-63, Т-66). Из понятия «переменный ток» автоматически появляется понятие «фаза», которое относится к любым переменным процессам: переменному току и напряжению, переменному давлению, переменному магнитному потоку и т. п. Фаза — это тот конкретный момент времени, когда ток (напряжение, давление, поток и т. п.) имеет определенное значение, например, положительную амплитуду (Т-70).

Фазу принято отсчитывать не в секундах, а в долях периода — в градусах. Весь период составляет 360 этих условных единиц (градусов), и если мы говорим, что к двум недалеко расположенным антеннам радиоволна приходит со сдвигом фаз 90°, то это значит, что в одной антенне положительная амплитуда тока появится на четверть периода позже, чем в другой (90° есть именно 1/4 от 360°). Зная частоту радиосигнала, можно для сдвига фаз 90° подсчитать время запаздывания и в привычных единицах времени, в секундах. Для частоты 100 килогерц весь период длится 0,00001 секунды и сдвиг фаз в 90° (четверть периода) составит 0,0000025 секунды (2,5 микросекунды), для частоты 1 гигагерц — 0,00000000025 секунды (0,25 пикосекунды).

Во многих случаях фаза сигнала никого не интересует — ну, подумаешь, опоздал радиосигнал на какие-то микросекунды. Главное, что он пришел и в своих изменениях (модуляция) принес нужную информацию. В таком, например, процессе, как фотографирование, тоже не учитывается фаза (в данном случае фаза световых излучений): не имеет значения, с какими фазами отражаются от снимаемого объекта и попадают в фоточувствительную эмульсию порции световых лучей. Этих лучиков очень много, и важна лишь их общая, суммарная энергия: там, где свет сильней, там активней идут химические процессы, и в итоге участок негатива оказывается более черным.

Но вот в 1948 году в Великобритании физик Денеш Габор предложил идею голографии (от греческого *холос* — весь, полный; имеется в виду полная, подробная регистрация сигнала, включая его фазу), а примерно через 20 лет, с появлением лазера, осуществили практически голографическую запись — регистрацию фазы световых лучей.

По самой идее делается это очень просто: к свету, отраженному от разных участков снимаемого объекта (назовем этот свет информативным, или сигнальным), подмешивается, как его называют, опорное световое излучение строго определенной частоты, например, от лазера. И на светочувствительной пленке в каждой ее точке обе волны — сигнальная и опорная — складываются. Результат этого сложения зависит от сдвига фаз. Если две волны одинаковой силы — сигнальная и опорная — сдвинуты по фазе на 180°, то они действуют одна против другой и полностью съедают (Т-8) друг друга. А если эти волны совпадают по фазе, то они суммируются, сила каждой удваивается. Подобный процесс суммирования двух волн называется интерферен-

цией. Сдвиг фаз между двумя попавшими в светоприемник волнами может быть любым — от 0° до 360°. При этом разным будет и результат интерференции (сложения) волн. При фотографировании какого-либо объекта с добавлением опорной волны на пленке получится голограмма — непонятный узор из темных и светлых полосок замысловатой формы. Именно в этих полосках записана фаза сигнального света: там, где она совпадала с фазой опорных лучей, суммарный свет становился ярче, там, где не совпадала, — слабее.

После нашего краткого пояснения сути дела может возникнуть вопрос: а зачем все это нужно? Зачем вообще нужно регистрировать фазу приходящего света и вместо нормальной фотографии получать какие-то непонятные интерференционные полоски? Ответ легко поймет тот, кто сам видел объемные картины, полученные с плоской голограммы. Дело в том, что фаза любого отраженного луча (грубо говоря, опоздание, с которым он пришел к фотопленке) зависит от того, какое расстояние ему пришлось пройти, то есть от того, где находится отражающая точка. Поэтому фазы всех световых лучей, попавших на пленку от фотографируемого объекта, дают информацию о его объеме. Определенным образом освещая голограмму, мы извлекаем из нее эту информацию — видим объем.

Этот микрорассказ о голографии попал сюда не только потому, что его главное действующее лицо — фаза, важнейшая для радиоэлектроники характеристика (Т-70, Т-71, Т-75, Т-77). Идеи голографии были с интересом приняты в ряде областей электроники, а кое-где уже заметно продвинуты вперед. Так, например, радиоастрономы, имеющие давний опыт охоты за фазой (Т-311;79, а также Т-8), думают о том, как получить голограмму Вселенной, увидеть ее объемную картину. На голографических методах создаются особые световые устройства памяти, в которые можно с высокой плотностью записывать информацию и быстро ее извлекать. Все так же регистрируя фазу, получают голограмму не из световых, а из акустических волн, что очень важно для ультразвуковых дефектоскопов и диагностических аппаратов. Коротко говоря, оптическая голография показала нам не только новые интересные эффекты — получение объемной картины из плоской. Было еще раз показано, как важно то, чем радиоэлектроника и оптика занимаются давно — как важно учитывать фазу электрического, светового и любого иного сигнала.

90. Компьютеры собираются в компанию, если есть о чем поговорить (локальные сети). Бывает, что владелец компьютера работает сам по себе и ему редко нужна информация из других машин. В подобном случае он пользуется дискетой: на одной ЭВМ записал что нужно, на другой — прочитал. Но очень часто образуется местный (локальный) компьютерный коллектив, где машинам все время приходится общаться, брать информацию из других машин или передавать им свою. В качестве примера можно вспомнить совместную работу вычислительных машин в большом банке, в конструкторском бюро или в редакции, где принятую статью правит редактор, проверяет корректор, иллюстрирует художник, одним словом, где статья проходит (и нередко туда-обратно) через несколько разных компьютеров. Чтобы в подобных ситуациях не бегать целый день с дискетами от машины к машине, все их связывают электрическим кабелем — объединяют в локальную компьютерную сеть.

Но, конечно, чтобы создать сеть, одного соединительного кабеля недостаточно. Нужно еще, чтобы машины понимали друг друга, чтобы посылали и принимали именно те файлы, какие требуются, чтобы могли запросить файл у той машины, где он есть, или отправить не на деревню дедушке, а именно той машине, которой нужно. Для этого каждый компьютер дополняют так называемой сетевой платой с дешифратором, который знает точный адрес данной платы и, следовательно, адрес машины, где она установлена. Чтобы исключить возможные ошибки, по международному соглашению каждой выпускаемой плате, независимо от того, в какой стране и какой фирмой она выпущена, присвоен ее собственный личный адрес. Это 48-значное двоичное число, в нем возможно более 300 миллиардов комбинаций 0 и 1, то есть более 300 миллиардов разных адресов — хватит на все сетевые платы, которые были, есть и будут. Личные адреса сетевых плат чем-то напоминают отпечатки пальцев, которые, как говорят, никогда у разных людей не повторяются. Чтобы не утомлять пользователя набором длинного адреса, машинам в сети присваивают более простые имена, вплоть до личных — «Таня», «Света» или «Марина», и сообщают всем машинам, какие адреса стоят за этими прекрасными именами. Так что наберете на клавиатуре, например, адрес «Марина», и машина сама отправит ваш запрос по нужному цифровому адресу.

Практически все делается еще проще. Вы вызываете на экран список всех абонентов своей локальной сети, помечаете мышкой нужного вам абонента и работаете с ним, как со своим собственным магнитным диском. Вы можете посмотреть, что на этом диске есть (реально — это, конечно, диск абонента), можете переписать с него информацию на свой диск, записать информацию на диск своего коллеги, можете, взяв себе на компьютер какой-то текст или рисунок, поправить их и вернуть обратно. При этом можно программными средствами ввести свои законы для данной сети. Можно, например, один из компьютеров сделать старшим, разрешить ему все виды работы с другими компьютерами. А им разрешить только посылать файлы «старшему», а брать с его диска что-либо — ни в коем случае.

Варианты локальных сетей могут быть самые разные, и во всех случаях они умеют создавать большие удобства для компьютеров, занятых общим делом.

91. Атом вместо транзистора (квантовый компьютер). В принципе возможно использовать отдельные молекулы или даже отдельные атомы для запоминания или обработки цифровых сигналов. Так, скажем, основное энергетическое состояние атома можно считать «единицей», возбужденное — «нулем». Заставив атом поглотить порцию энергии, его переводят из 0 в 1, а заставив излучить такую же порцию — из 1 в 0. Цепочку атомов, передающих один другому кванты (порции) энергии, можно сравнить с цепочкой триггеров в электронном коммутаторе или дешифраторе (Т-275). Можно представить себе и логические элементы И, ИЛИ, НЕ (Т-267), составленные из атомов, у которых можно менять квантовое состояние. Разумеется, от всех этих «в принципе возможно» или «можно представить себе» нужно пройти огромный путь до реально действующих квантовых компьютеров с отдельными атомами вместо транзисторов. Но первые шаги на этом пути уже сделаны: в физических лабораториях проведены обнадеживающие предварительные эксперименты и главное — есть идея. Большинство нынешних шедевров техники когда-то начиналось именно с идеи.

92. Алло, Аэлита! (поиск внеземных цивилизаций). Радиоастрономы, помимо изучения истории Вселенной и ее нынешнего устройства (Т-311;79), ведут еще одну непростую, но очень интересную работу. На крупнейших радиотелескопах мира, по согласованным международным программам или по своим собственным, они принимают приходящие из космоса радиоизлучения и пытаются обнаружить в них, как часто говорят, признаки искусственности. Предполагается, что в далекой звездной системе на какой-то планете есть разумная жизнь, примерно такая же, как на Земле, или даже продвинувшаяся еще дальше в сфере науки и техники. Возможно, тамошние жители построили мощнейшие радиопередатчики и посылают во все стороны радиосообщения о себе. Не исключено, что эти сообщения доберутся до Земли, и мы сумеем их обнаружить. О том, чтобы принять и сразу понять послание «братьев по разуму», пока и не говорят. Колоссальной удачей было бы обнаружить в космосе источник радиоизлучения, которое (в отличие от естественных излучений) имеет какие-то признаки упорядоченного сигнала, например, напоминает условный код в виде импульсов и пауз.

Поиск внеземных цивилизаций идет уже много лет, но выполнена лишь ничтожно малая часть программы: нужно обшаривать (Т-8) приемной антенной радиотелескопа огромные пространства и повторять такое обшаривание на разных частотах. При этом хорошо бы не проворонить признаки искусственности и не приписать их естественным сигналам, как это было в случае с пульсарами. Пока радиоастрономы не обнаружили во Вселенной сигналы искусственного происхождения, но надежда остается. А у кого-то даже уверенность.

93. Компьютерная сеть компьютерных сетей (Интернет). Представьте себе, что какой-либо научный центр, скажем, институт, занятый разработкой и применением антибиотиков, имеет свою локальную (местную) компьютерную сеть (Т-311;90). Антибиотиками занимаются институты в других городах и в других странах, в этих институтах есть свои локальные компьютерные сети. Наверняка имеет смысл соединить все эти местные сети линиями связи и, создав определенные процедуры взаимодействия сетей, упростить тем самым обмен информацией между учеными, объединить их для решения общих задач. В результате из местных сетей получится большая междугородная или даже международная компьютерная сеть, в которой абоненты через свои компьютеры смогут в разных формах взаимодействовать с коллегами: быстро обмениваться письмами, сразу же рассылать свои статьи, обращаться к

коллегам за помощью, давать объявления о семинарах или научных конференциях.

История больших компьютерных сетей еще не написана, но считается, что в конце семидесятых годов это дело начали американские военные, связав локальные сети своих научных центров в сеть ARPAnet (английское слово net входит в название многих сетей, оно как раз и означает сеть). Вскоре появилась крупная сеть NSFNET Национального научного фонда, объединившая, в частности, американские университеты. Сегодня в мире много больших профессиональных сетей — банковских, университетских, медицинских, библиотечных, полицейских, транспортных и иных. Образовалась и всемирная сверхбольшая универсальная компьютерная сеть — Интернет (Internet), в которую стекается масса самой разной информации — все обо всем. В Интернет входят и многие профессиональные сети, и локальные сети отдельных институтов, фирм и школ, и даже отдельные компьютеры индивидуальных пользователей. Обратите внимание — речь идет о многих, а не о всех: у каких-то локальных сетей и отдельных компьютеров нет потребности входить в Интернет, им вполне хватает внутренней информации или своей большой сети, тоже международной, но узко профессиональной.

Интернет — это целый компьютерный мир, разумеется, со своими законами, общий дух которых можно выразить несколькими словами: доступность, демократичность, четкость, бескорыстность. Последнее означает, что любой компьютер и любая локальная сеть могут войти в Интернет, могут бесплатно передавать в сеть и получать из нее информацию, оплачивая (да и то частично) лишь «транспортные расходы» — пересылку информации. Серьезную финансовую поддержку Интернет получает от фирм, фондов, правительств, понимающих, как велика роль этой новой формы объединения человеческого интеллекта.

Главное слово в конституции сети Интернет — протокол. Протоколы — это правила для всех случаев пользования сетью и для любых взаимодействий ее абонентов. Именно глубоко продуманные протоколы позволяют четко функционировать столь фантастически сложной системе, как Интернет. У Интернета нет начальства в общепринятом смысле. Развитие этой сети определяет общественная организация «Общество Интернет», а техническую политику — «Совет по архитектуре Интернет». В то же время есть много местных организаций, которые помогают пользователю войти в Интернет и работать в сети, оплачивая связанные с этим расходы.

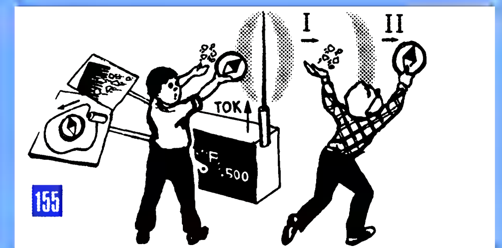
Интернет открывает пользователю много возможностей, назовем лишь некоторые из них.

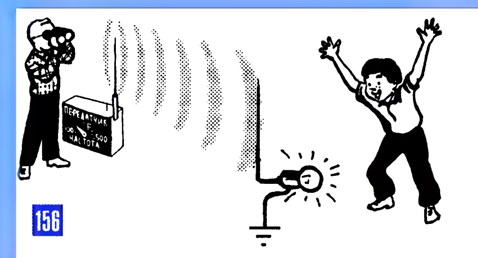
Электронная почта (E-mail). Каждый пользователь компьютера, включившись в Интернет, получает свой личный адрес (как, впрочем, и в локальной сети). Теперь он может получать по Интернету электронные письма, а также отправлять письма другим абонентам сети. Интернетовский адрес — это очень большое двоичное число, по которому можно определить, через какие узлы связи нужно с этим абонентом соединяться. Но поскольку человеку неудобно пользоваться длинным цифровым адресом, каждому абоненту присваивают еще и собственное имя, именно его обычно называют адресом. Машина сама, если требуется, превращает это имя в нужный цифровой адрес. Собственное имя компьютера, включившегося в Интернет, состоит из нескольких частей, иногда разделенных точками (их пропустить нельзя — это будет ошибкой в адресе), и выглядит, например, так: vnsoyfer@masont.gmu.edu, или так: tum@ruggu.msk.su. Существует такая система проверок и регистраций, при которой одно и то же имя не может быть присвоено разным компьютерам. Составные части имени при чтении слева направо, начав с конкретного компьютера, указывают все более крупную группу, куда он входит. В частности, последняя часть имени означает: edu — сфера образования, com — коммерция, gov — правительственные организации, mil — военные, ru — Россия, ua — Украина, ca — Канада, mv — Мальдивские острова, mt — Мальта и так далее. Указав компьютеру нужный адрес, вы можете любому абоненту Интернета послать письмо, предварительно заготовленное на дискете или сразу же набранное на клавиатуре.

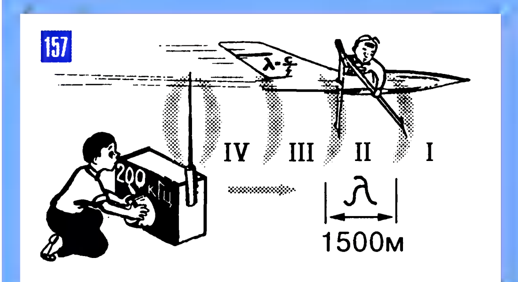
Настало время сказать, что в сети Интернет, как и в любой другой, каждый компьютер соединен с другим компьютером линиями электрической или оптической связи. Иногда это специальные соединительные линии (как, например, в локальных сетях), но часто используются традиционные линии связи — городские телефонные сети, междугородный кабель, спутниковые системы и другие. И компьютер, особенно одиночный, чаще всего входит в большую сеть через обычную телефонную линию, стыкуясь с ней с помощью модема (Т-311;119).

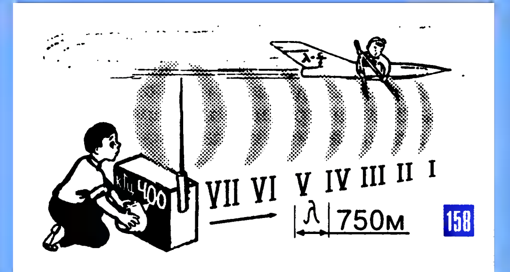
Пройдя по телефонным линиям и через АТС, ваше электронное письмо приходит


154
I
ТОК
ПЕРЕДАТЧИК
100
F
500
ЧАСТОТА

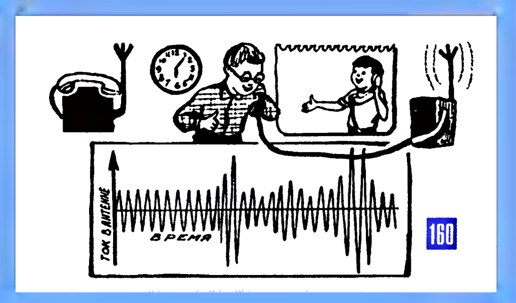

155
I
II
ТОК
F
500

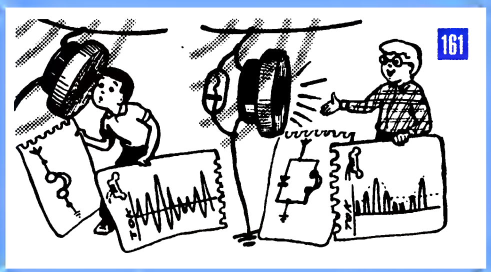

156

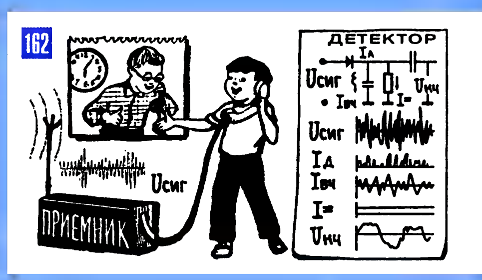

157
200 кГц
IV
III
II
I
λ
1500м


158
кГц 400
VII VI V IV III II I
λ
750м


159
АЗБУКА МОРЗЕ
ПЕРЕДАТЧИК
ПОРА ДОМОЙ


160
ТОК В АНТЕННЕ
ВРЕМЯ


161
ТОК


162
ДЕТЕКТОР
Uсиг
Iд
Iвч
I=
Uнч
ПРИЕМНИК

на первый промежуточный пункт компьютерной сети; он, как и все последующие, работает по протоколу межсетевого общения IP — Internet Protocol. Здесь стоит мощный компьютер — сервер (Т-311;114), который, во-первых, будет хранить письмо в своей памяти до того момента, когда появится возможность отправить его дальше. Во-вторых, программа сервера «маршрутизатор» по адресу определит, на какой следующий «маршрутизатор» нужно отправить ваше письмо, и так до тех пор, пока оно не придет к адресату.

Телеконференции. Письмо — очень конкретное сообщение, требующее ответа. В то же время у вас может быть потребность получать просто информационные «письма» — сообщения о том, что происходит в той или иной области науки, техники, искусства, политики и т. д. Именно это и делает интернетовская телеконференция, своего рода электронная доска объявлений и сообщений. Интернет предлагает на выбор несколько тысяч тематических телеконференций, и вам остается лишь выбрать и сообщить сети конкретное название интересующей вас темы. Оно состоит из нескольких частей, например, таких: rec.music.folk. По этому заказу к вам будут поступать сообщения класса rec (recreation — развлечения), группы music (музыка) и подгруппы folk (народная).

Выбрав соответствующую программу, вы можете заказать одну из многих возможных форм предоставления информации. Например, первым делом получать короткие новости, затем — статьи из теоретических журналов и напоминания о статьях, которые вы уже видели, делать выписки в процессе чтения, вводить в конференцию свои материалы, автоматически отсеивать определенные категории информации. Телеконференция — это фактически заказная ежедневная газета, хотите чисто профессиональная, хотите — с добавлением текущих событий, хотите — развлекательная — какую закажете, такая будет исправно приходить на ваш компьютер.

Перемещение файлов. В Интернет входят богатейшие хранилища информации — библиотеки, хранилища иллюстраций, игровые программы, архивы, собрания научных отчетов, расписания поездов, сборники анекдотов, географические и геологические карты, многолетние наблюдения за погодой — всего не перечесть. И все это, конечно (во всяком случае то, что предлагается Интернету), с листов бумаги, с кинопленки и с книжных страниц в двоичном коде перенесено на магнитные диски мощнейших компьютеров. Есть списки всех этих источников, их сетевые адреса, по которым вы можете выбрать нужное вам хранилище и порыться в нем — на экране своего компьютера просмотреть подробный каталог и, обнаружив что-либо интересное, получить на свой компьютер и сам документ, книгу, чертеж, статью, фотографию. Для этого существует интернетовский Протокол передачи файлов (File Transfer Protocol, FTP), он позволяет перенести информацию к себе в компьютер (если понадобится, ее можно будет распечатать для вечного пользования) из любых включенных в сеть источников, независимо от того, где они находятся и какую используют технику.

На нескольких страницах никак не удастся даже коротко рассказать о всех новых возможностях, которые Интернет открывает вступающим в эту сеть владельцам компьютеров. Выше была предпринята отчаянная попытка представить хоть три из многих профессий Интернета: электронную почту, телеконференции, перемещение файлов. Но и о них было недосказано много важного и интересного. Назвав электронную почту, надо бы, конечно, сказать о такой, например, удобной мелочи, как присвоение короткого псевдонима некоторым своим коллегам. После этого уже не нужно каждый раз набирать длинный адрес, это по псевдониму сделает сама машина. Или еще такое удобство: получаемые письма в памяти машины можно сразу раскладывать по условным папкам — отдельно письма по теме № 1, отдельно — по теме № 2, отдельно — письма начальника, отдельно — жены. Можно отправить свое письмо не одному абоненту, а сразу многим, по списку адресов, выделяя при этом тех, кому письмо отправляется всего лишь для сведения. Можно сразу переадресовать полученное письмо третьему абоненту (мечта бюрократа!). Есть даже такое понятие, как отражатель — полученное вами письмо, после просмотра, автоматически «отражается», например, группе пользователей вашей локальной сети.

Очень много чрезвычайно важных подробностей надо бы рассказать о телеконференциях и перемещении файлов. Одно лишь утешает — при необходимости читатель все это найдет в литературе, например, в прекрасной книге Эда Крола «Все об Internet». В этой или иной подобной книге из потока конкретных достоинств глобальной компьютерной сети неотвратимо вырисовывается ее общее, общечеловеческое значение. Интернет, разумеется, не на-

чинал с нуля, до него существовали и помимо него существуют сейчас гигантские библиотеки, отлаженная почта, изумительные справочники и энциклопедии, мировая телефонная сеть, тысячи профессиональных журналов, существует мощнейшая индустрия информации. Казалось бы, на этом фоне Интернет дал всего лишь количественный выигрыш: вы можете быстрее получить информацию, просмотреть больше интересующих вас публикаций, ознакомить со своей идеей большее число людей, расширить свои профессиональные контакты. Но за этим количественным выигрышем стоит новое качество: включившись со своим компьютером в Интернет, вы вступили в прямой контакт с человечеством, получили непосредственный доступ к его информационным богатствам, причем без посредников и проволочек, без тирании расстояний, опозданий, технических проблем. И это еще только начало.

94. Жидкие кристаллы. Жидкими эти вещества называются потому, что они жидкости, хотя и густые, вязкие. Ну, а кристаллы они потому, что в определенном интервале температур имеют упорядоченную молекулярную структуру. В рамках этой структуры жидкого кристалла можно воспользоваться его свойствами жидкости (нет жесткой связи между молекулами) и, не меняя местонахождение молекул, поворачивать их в пространстве. Такой поворот, в частности, производит электрическое поле. При этом из-за поворота молекул меняются оптические свойства жидкого кристалла — он, например, перестает отражать свет или из прозрачного становится непрозрачным. Именно эти физические процессы и используются в индикаторах на жидких кристаллах, с которыми каждый встречался в часах и калькуляторах.

Жидкокристаллический (ЖК) индикатор чем-то напоминает двойную оконную раму: два тонких стеклышка, между ними слой жидкого кристалла и со всех четырех сторон герметичное обрамление. На обоих стеклах этой «рамы» напылением металла созданы невидимые электроды — тончайшие прозрачные токопроводящие покрытия. Прозрачный электрод на заднем стекле напылен по всей его поверхности, на переднем — в виде точек или черточек, каждая из них имеет свой вывод, и к ней может быть подведено электрическое напряжение. Наиболее широко известны стилизованные «восьмерки» из семи черточек-электродов — из разных комбинаций этих черточек можно сложить любую цифру от 0 до 9 (К-21). Можно заставить любую черточку индикатора сильно потемнеть за счет изменения внутренней структуры жидкого кристалла под невидимым электродом. Для этого достаточно подвести небольшое напряжение (доли вольта) и создать электрическое поле между общим задним электродом и одним из электродов-черточек переднего стекла. Именно так в электронных часах и калькуляторах, подав напряжение на разные комбинации электродов-черточек, высвечивают на ЖК-индикаторе нужные цифры. Слово «высвечивают» описывает ситуацию, как говорится, с точностью до наоборот: под действием электрического поля участки жидкого кристалла темнеют, и цифры на индикаторе получаются не светлыми, а темными. Вместе с ЖК-индикатором работают полупроводниковые дешифраторы с коммутаторами: получив из вычислительного блока часов или калькулятора код какой-либо цифры, они определяют, на какие именно электроды-черточки нужно подать напряжение, и производят необходимые подключения, чтобы высветить эту цифру. В некоторых жидкокристаллических индикаторах (например, в пейджерах) из черточек складываются все буквы алфавита.

Существуют ЖК-индикаторы с многоточечным растром (Т-311;1), причем можно высветить (точнее, затемнить) отдельно каждую точку растра, а из многих точек сформировать целую картинку. Для этого создают матрицу: на заднее стекло напыляют тонкие горизонтальные электроды, а на переднее — такие же вертикальные электроды. Высвечиваются (затемняются) только те точки, которые лежат на пересечении электродов, получающих электрическое напряжение. Таким образом можно по отдельности управлять свечением каждой точки, переключая сравнительно небольшое число выводов. Например, для растра из 100x100 = 10000 точек нужно переключать не 10000 выводов от каждой точки, а всего 100 + 100 = 200 выводов горизонтальных и вертикальных рядов.

У жидкокристаллических индикаторов началась новая жизнь, когда за задним стеклом установили люминесцентную панель, которая дает ровную яркую подсветку. Индикатор теперь работает на просвет, напоминая яркий телевизионный экран. Следующим шагом стали цветные ЖК экраны, в них каждую точку растра образуют три ЖК точки с тремя микроскопическими светофильтрами — красным, синим и зеленым. Цветные ЖК экраны размером с почтовый конверт и даже побольше уже

появились в миниатюрных цветных телевизорах, камкордерах и нотбуках — портативных компьютерах.

95. Плата за скорость передачи. Словосочетание «плата за скорость» сразу же тянет за собой транспортные аналогии: билет на скорый поезд стоит дороже, чем на более медленный почтовый, на самолет — еще дороже. И все это понятно: за высокую скорость перемещения, за экономию времени надо платить. Похожее правило действует и при передаче информации: чем выше скорость передачи, то есть чем больше информации мы хотим передавать за единицу времени (например, передавали 100 бит в секунду, а теперь хотим передавать 100 килобит в секунду, в 1000 раз больше), тем сложнее, а значит, дороже должна быть аппаратура и сама линия связи. Чтобы понять это, полезно вспомнить, как мы платим за объем передаваемой информации.

Для передачи речи (телефон) нужна полоса частот 2—3 килогерца, и с этим вполне справляются обычная двухпроводная линия, угольный микрофон и простейший электромагнитный «тихоговоритель» (Т-100, Т-111). Для качественной передачи музыки нужна полоса частот около 20 килогерц (от 20 герц до 20 килогерц), и, чтобы воспроизвести всю эту полосу, телефонный «говоритель» уже не годится, нужны более совершенные и дорогие акустические системы (Т-120, Т-184). Ну, а для передачи телевидения полоса частот должна быть еще раз в 300 шире — примерно 6,5 мегагерца (Т-255). Для телевидения двухпроводная телефонная линия совершенно непригодна: она будет сильно заваливать высокие частоты и от картинки останутся лишь крупные пятна. Для передачи ТВ сигнала используют значительно более дорогой коаксиальный кабель (иначе — концентрический кабель: один провод — средняя жила, второй — наружный цилиндр, обычно в виде гибкой оплетки). И телевизионные широкополосные усилители сложнее звуковых, здесь тоже приходится платить за широкую полосу частот, то есть за большой объем передаваемой информации.

Эта зависимость особенно четко просматривается в многоканальных линиях связи с частотным разделением каналов. Здесь каждый телефонный разговор передается на своей несущей частоте (Т-311;103), и, чем на большее число разговоров рассчитана система, тем больше этих поднесущих частот, тем более широкую суммарную полосу нужно передать. И тем дороже система. В междугородном кабеле, например, с увеличением числа каналов приходится чаще усиливать коллективный сигнал. Иногда усилители врезают в кабель через каждые 3—5 километров.

Итак — за объем информации нужно платить, расширяя полосу частот, которую должен пропустить канал связи. Но при чем здесь скорость передачи? Давайте подумаем, почему столь широкая полоса частот оказалась у ТВ сигнала? Да потому, что мы должны передать очень много элементов картинки за секунду: согласно стандарту нужно передавать 25 кадров в секунду, а в каждом кадре — полмиллиона элементов. В итоге и получается, что для передачи самых мелких деталей нужна полоса частот более 6 мегагерц (Т-256). При этом мы видим картинку, как принято говорить, в реальном масштабе времени: вратарь прыгнул за мячом где-то на бразильском стадионе, и в это же время (если не считать миллисекунд запаздывания сигнала) вратарь с такой же точно ловкостью прыгает и ловит мяч на вашем экране.

Ситуация резко меняется, если нужно передать ТВ видеосигнал не для просмотра в реальном масштабе времени, а для медленной его записи, например, в память компьютера. Для конкретности примем, что кадр можно передавать не за $^1/_{25}=0{,}04$ секунды, как в телевидении, а в 1000 раз медленнее — за 40 секунд, а 25 кадров соответственно не за секунду, а за 1000 секунд. Для этого и полоса частот понадобится в 1000 раз меньшая — не 6 мегагерц, а 6 килогерц. А значит, и передавать картинку можно будет даже по обычной телефонной линии. Таким образом, пожертвовав скоростью, мы выиграем в цене аппаратуры, линий связи и всего прочего.

Именно так поступают создатели космических систем связи, когда нужно передать информацию с далекой планеты: ее передача идет очень медленно. Здесь, правда, главная задача не просто упрощение аппаратуры, а снижение уровня шумов (Т-311;50). Чем медленнее идет передача, тем, как мы только что установили, меньше полоса частот, которую должна пропустить линия связи. А чем меньше полоса частот, тем меньше частотных составляющих шума попадет в канал связи, тем меньше будет суммарная шумовая мощность и, значит, более слабый сигнал можно будет принять. За этим следует целая цепочка аппаратурных выигрышей: меньшей может быть мощность бортового передатчика, меньшего размера антенны, меньше мощность бата-

рей, питающих передатчик, меньше вес бортовой аппаратуры.

Кстати, не только на космических линиях снижают скорость передачи, стараясь уложиться в приемлемую цену, в приемлемые характеристики канала связи. Так, например, обычный телефакс (Т-311;23) перед началом передачи сам с помощью пробных сигналов проверяет качество телефонной линии. И если линия плохая, факс автоматически переходит на более низкую скорость передачи.

96. Программа для всех программ (операционная система). Компьютерная тематика достаточно скромно присутствует в этой книге. Чтобы представить компьютеры «в полном виде» даже при не очень подробном изложении сути дела, пришлось бы занять все книжные страницы. И еще не хватило бы. Отобранные темы, связанные с вычислительной техникой, в частности, темы для раздела Т-311 касаются, как правило, особо важных или наиболее типичных проблем (Т-311;30, 71, 81, 102, 104, 112, 121 и др.), к сожалению, не всегда попадающих в сферу нашего внимания. В полной мере это относится и к предмету данного рассказа — к особым компьютерным программам, которые носят название «операционная система».

Какие бы задачи ни решал компьютер, какая бы программа в него ни вводилась, в ней обязательно нужно иметь конкретные указания по выполнению довольно большого набора чисто технических операций. Например, в каждой программе должно быть указание, как прочитать и куда передать код, появляющийся при нажатии тех или иных клавиш. И как найти для введенной буквы место в памяти, запомнить ее адрес и одновременно выполнить целый набор самых разных включений, переключений и пересылок, чтобы вывести эту букву на экран. Программа должна точно указать, какой набор операций нужно выполнить, чтобы распечатать на лазерном принтере результат вычислений. Или какая конкретно цепочка операций заставит компьютер выбрать для печати указанные оператором шрифт и размеры знаков.

Таких вспомогательных операций набирается очень много, выполняются они всегда одинаково, и нет смысла каждый раз вписывать их в подготовленную для компьютера программу. Вместо этого для всех вспомогательных операций разрабатывают одну сборную программу, которая как раз и называется операционной системой (сокращенно — ОС). Ее записывают на встроенном магнитном диске и таким образом раз и навсегда вводят в машину («навсегда», конечно, преувеличение, при необходимости записанную операционную систему можно убрать из памяти и записать другую или же иметь на диске две разные операционные системы). При этом в каждую новую компьютерную программу включается лишь небольшой фрагмент, указывающий, как нужно взаимодействовать с данной операционной системой, предлагая ей взяться за ту или иную конкретную операцию: «распечатать», «отыскать на диске», «сохранить в памяти», «вывести на экран» и т. п. При включении компьютера он может сразу же перевести операционную систему в ОЗУ, и она станет частью любой программы, которая вводится в машину.

Еще на заре вычислительной техники появилась идея такого двухэтажного программирования (Т-8), когда в основании любой программы лежит операционная система — программа, выполняющая, грубо говоря, всю техническую работу. Операционная система позволяет программисту в любой его рабочей программе во многих случаях ограничиваться очень простыми, стандартными командами, по которым дальнейшую рутинную работу выполнит ОС. Типичная ситуация: чтобы исполнить одну такую стандартную команду, ОС производит несколько десятков действий.

Казалось бы, проблема закрыта — есть идеальный исполнительный работник на все руки, он прекрасно знает свое дело, и о том, что поручено операционной системе, можно не думать — ОС все сделает сама. Но в действительности ситуация иная, и в ней отражаются важные особенности всей компьютерной сферы: многообразие и сложность задач, чрезвычайно быстрый прогресс как самой техники («железо»), так и программных продуктов («софт»). На операционной системе это сказывается, как и на всем остальном: приходится выполнять все больше и больше разных дел, и они становятся все сложнее. В результате создаются совершенно новые ОС и новые варианты (профессионалы говорят — версии) существующих — более совершенные и более объемные. Так, если лет десять назад типичная операционная система занимала в памяти меньше мегабайта и умещалась на двух дискетах, то для современной ОС высокого класса понадобилось бы чуть ли не полсотни таких дискет, то есть более чем в 20 раз больше памяти.

Наряду с ростом объема работ, отданных операционным системам, растет и их квалификация. Они, например, уже сами по-

нимают, что им нужно делать, если вы замените один тип принтера другим, добавите еще одну плату в ОЗУ или даже, незначительно дополнив ОС, подключите совершенно новое устройство памяти — дисковод для CD ROM. Они организуют работу компьютера в сети, с легкостью получают информацию из других ее компьютеров, как из своей собственной памяти. Сразу после включения компьютера ОС берут на себя управление, запускают программы проверки отдельных узлов, проводят другие подготовительные процедуры. Есть ОС, освоившие многозадачность, — они управляют компьютером так, что он одновременно решает несколько задач, а операционная система дирижирует этим процессом, поочередно и с учетом обстановки предоставляет этим задачам машинное время. Освоили ОС и функции охраны — они оберегают процессор от действий, которые могут привести к «зависанию» компьютера, к его фактической остановке, неспособности выполнять какие-либо операции.

Со времени появления IBM совместимых персональных компьютеров для них было разработано немало разных операционных систем: CP/M, MP/M, PC DOS, MS DOS, DR DOS, UNIX (ЮНИКС), OS/2, несколько совершенно разных Windows (произносится виндоуз — окна). Некоторые из этих ОС ушли в историю, другие, как, например, DOS, непрерывно совершенствовались, последние их версии и сейчас применяются достаточно широко. Широко рекламируется операционная система Windows-98, она имеет немало профессиональных достоинств и, как и другие члены этого семейства, предлагая пользователю взаимодействовать с графическими символами в окнах на экране, заметно облегчает общение с компьютером.

Что же касается профессионалов, то они всегда умудряются находить недостатки в том, что уже сделано, а это приводит к появлению новых, как их официально называют, аппаратных средств и программных продуктов. В том числе более совершенных операционных систем.

97. Машина учится добывать знания (экспертные системы). Самая совершенная компьютерная шахматная программа, заставлявшая всерьез задумываться чемпионов мира, вряд ли сможет сама решить простенькую задачу с двумя бассейнами. Программа до тонкостей знает свое дело, но это не назовешь интеллектом. Он подразумевает широкое пользование своими знаниями, умение их пополнять, добывать новые знания и, принимая какое-либо решение, понимать, почему и как оно было принято. Именно этому учатся и даже уже умеют делать экспертные системы — одно из реальных достижений в сфере искусственного интеллекта. Экспертная система умеет сама исследовать знания, которые в ней находятся, и получать таким образом новые знания. Это уже приближение к человеческому интеллекту, который, пользуясь своими знаниями в одной какой-то области, может научиться решать и далекие от нее задачи.

Консультационная экспертная система — это особая программа для компьютера, которая, пользуясь своей базой знаний, в свободном диалоге с пользователем помогает ему найти нужное решение. Например, помогает врачу поставить диагноз или помогает следователю сделать правильный вывод из нескольких разрозненных фактов. В экспертной системе есть специальный комплекс, который работает с базой знаний, наводит в ней определенный порядок, устанавливает аналогии, смысловые связи. Есть и комплекс объяснения — он готов покопаться в базе знаний и не просто выдать какую-либо цитату, а ответить пользователю на разнообразные «почему?», «откуда?», «как?», «где?», «кто?». Получив ответ, можно узнать, каким образом и почему именно он был получен, о чем и как думала система.

В некоторых профессиональных областях уже начинают применять экспертные системы. И вполне возможно, что с этих «опытных образцов» уже начинается приход компьютерных систем принципиально нового класса в жизнь практикующих специалистов — врачей, геологов, конструкторов, экономистов, педагогов.

98. Телефон в эпоху электроники. Когда в телефоне старого образца вы вращаете диск номеронабирателя, то он во время обратного хода своим подвижным контактом разрывает цепь постоянного тока и посылает в линии прямоугольные импульсы. Число импульсов соответствует набранной цифре, а все вместе они называют номер нужного вам абонента, по которому на станции будет сделано соединение. В телефоне с кнопочным номеронабирателем эта операция отдана электронике. В аппарате есть импульсный генератор, он выдает ровные, аккуратные импульсы тока. При нажатии на кнопку включается счетчик, он и отсчитывает число импульсов, соответствующее нажатой кнопке. Как правило, эта нехитрая система вместе с оператив-

ной памятью выполнена в виде одной специальной «телефонной» микросхемы.

Кнопки можно нажимать с любой скоростью, потому что комплекты импульсов сначала попадут в оперативную память и оттуда уже в нужном ритме уйдут в линию. Набранный номер остается в памяти до тех пор, пока его не сменит другой набранный номер. Это очень удобно: если ваш номер занят, набор можно повторить, нажав на кнопку «повтор» и с ее помощью еще раз отправив в линию то,что хранится в оперативной памяти. Существует система дозванивания: она сама повторяет отправку номера из памяти и делает это до тех пор, пока не произойдет соединение с абонентом. Во многих аппаратах есть и несколько ячеек долговременной памяти, в них вы записываете номера телефонов, которыми пользуетесь особо часто. После этого достаточно нажать одну кнопку (иногда две), чтобы набрать весь номер, точнее, извлечь его из долговременной памяти.

В электронном телефоне встречается много удобных мелочей. Например, жидкокристаллический индикатор, на котором высвечивается набранный вами номер, время, дата и иная информация. Рядовым явлением стал автоответчик в виде миниатюрного магнитофона либо в виде цифрового запоминающего устройства на микросхемах. Чтобы записать в цифровом виде, а затем воспроизвести какое-либо голосовое сообщение, нужны, разумеется, АЦП и ЦАП (Т-308). Еще одно, иногда очень полезное, электронное дополнение к телефону — определитель номера. Уже давно по просьбе полиции во многих странах на большинстве телефонных станций была установлена аппаратура, которая по запросу определяет и сообщает номер телефона, с которого вам звонят. Такая информация нужна, например, в случае ложных вызовов пожарных или скорой помощи, в случае телефонного хулиганства, анонимных угроз и вымогательств. Сейчас в нашей стране к станционным определителям номера почти везде получили доступ рядовые пользователи телефона, и в некоторых аппаратах уже появился необходимый для запроса электронный блок.

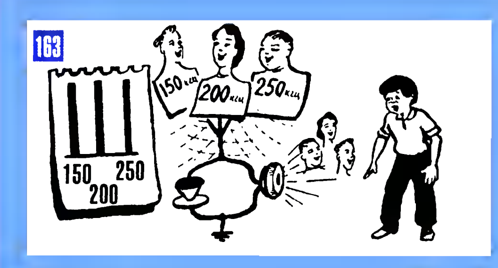
Разнообразны и полезны электронные системы абонентского телефонного аппарата, но особо большой эффект дает применение электроники на телефонных станциях и линиях связи. Одна из иллюстраций — цифровые коммутаторы, выполняющие традиционное соединение абонентов. Но если для телефонной станции с обычными коммутаторами на 10 тысяч абонентов нужно построить пятиэтажное здание, то ее электронному цифровому заменителю достаточно одной большой комнаты.

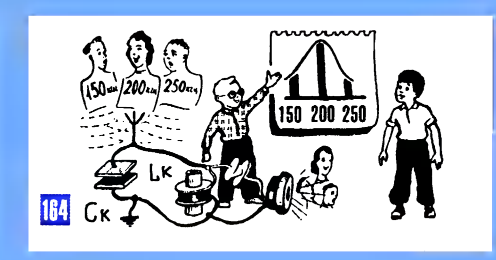
99. Пятый континент памяти (компьютерные ЗУ). Память относится к тем понятиям, задумавшись о которых неизбежно приходишь к самым глубинным, к философским размышлениям об устройстве нашего мира. В реке времени все уплывает, уходит в прошлое, и ничего оттуда не вернешь. Но можно оставить описание того, что было и прошло, запомнить его, записать в память.

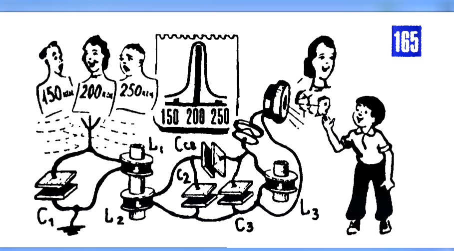
Весь мир природных запоминающих структур и рукотворных как бы разделен на пять областей, на пять огромных континентов. Первый — запоминающие объекты неживой природы, такие, например, как пружина, которая, если ее растянуть, запомнит (в виде внутренних напряжений) свое исходное состояние и при первой возможности вернется к нему. Вторая область — память в живой природе, без нее жизнь просто была бы невозможной. В частности, все живые организмы в точности воспроизводят себя по записям в генетической памяти — в огромных молекулах ДНК. Третий континент памяти — не имеющая аналогов и пока загадочная память человека, четвертый — придуманное человеком продолжение его природной памяти: наскальные рисунки, компакт-диски, ноты, строительные чертежи, видеозаписи, книги.

Пятый континент памяти — запоминающие устройства компьютера. Они не просто запоминают информацию, подобно записной книжке или фотографии, но и активно работают с ней: в огромных массивах мгновенно находят то, что нужно, сортируют, обобщают, сравнивают — одним словом, вместе с другими блоками ЭВМ обрабатывают то, что хранится в компьютерной памяти.

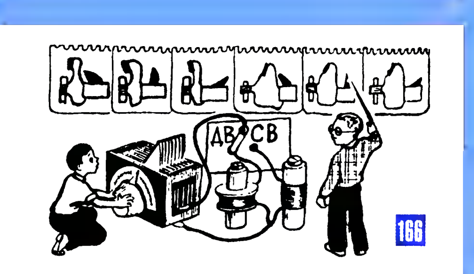
Память компьютера многообразна. Здесь и записи на магнитных дисках — сменяемых дискетах (Т-277) и встроенном жестком диске, винчестере. Запись на дисках ведется не на единой спиральной дорожке, как в грампластинке, а на кольцевых дорожках, разбитых на секторы. И у каждого файла (отдельный, имеющий свое имя блок записи), есть метка, указывающая номер кольца и номер сектора, где данный файл размещен. Именно по этим меткам операционная система (Т-311;103) мгновенно дает указания системе перемещения считывающей магнитной головки, и она, двигаясь над диском, не касаясь его, сразу под-

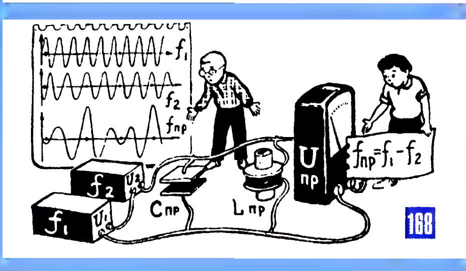

163
150 кгц
200 кгц
250 кгц
150 250
200

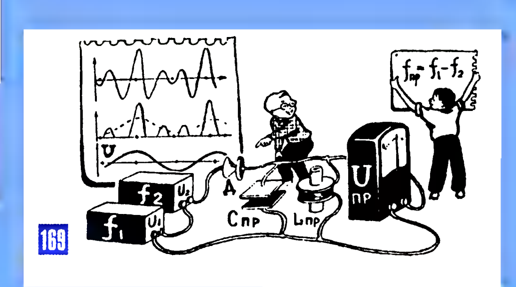

164
150 кгц
200 кгц
250 кгц
150 200 250
Lк
Cк

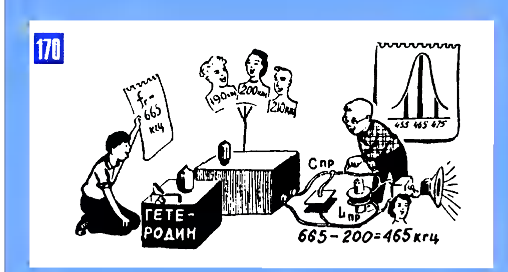

165
150 кгц
200 кгц
250 кгц
150 200 250
L_1 $C_{св}$
C_2
C_1
L_2
C_3
L_3


СИЛЬНАЯ СВЯЗЬ
ОПТИМАЛЬНАЯ
СЛАБАЯ
167


ДВ СВ
166


f_1
f_2
$f_{пр}$
f_2
f_1
U_2
U_1
$C_{пр}$
$L_{пр}$
U пр
$f_{пр}=f_1-f_2$
168


$f_{пр}=f_1-f_2$
U
f_2
f_1
U_2
U_1
Д
$C_{пр}$
$L_{пр}$
U пр
169


170
$f_г$ = 665 кгц
190 кгц
200 кгц
210 кгц
455 465 475
$C_{пр}$
$L_{пр}$
ГЕТЕРОДИН
665 - 200 = 465 кгц


171
$f_г$ = 655 кгц
190 кгц
200 кгц
210 кгц
445 455 465
$C_{пр}$
$L_{пр}$
ГЕТЕРОДИН
655 - 190 = 465 кгц

ходит к началу нужной записи, опускается и начинает считывание.

Кстати, считывание и запись тоже происходят без касания, иначе из-за большой скорости головка вскоре просто процарапает диск, да и сама довольно быстро разрушится. В то же время и отдалять головку от магнитного слоя нельзя, хотя бы потому, что намагниченные участки станут более расплывчатыми, а значит, резко уменьшится плотность записи. Решение подсказала авиация: у головки есть аэродинамические элементы, напоминающие крыло самолета. Благодаря этим «крылышкам» при движении магнитной головки у нее появляется подъемная сила, головка летит над диском на высоте в несколько микрон, как бы касаясь его и в то же время не касаясь. Встроенное магнитное ЗУ (винчестер) может иметь несколько жестких дисков на одной оси, каждый со своей головкой. Когда-то рекордным достижением считался винчестер, в который можно было записать 20 мегабайт (примерно 10 тысяч страниц машинописного текста или полсотни средних фотографий), сейчас диск на 4 или 8 гигабайт стал рядовым явлением. Кроме того, появились оптические диски (Т-311;31,71), каждый обычно по 0,6—1,2 гигабайта. И их, подобно дискетам, можно иметь целую библиотеку.

Многообразна и «неподвижная» память компьютера — ОЗУ и ПЗУ, выполненные на микросхемах (Т-274, Т-277). В постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) наборы команд или исходных данных записаны навсегда («зашиты»). Есть микросхемы для ПЗУ, в которых можно самому сделать запись, например, особым приемом разрушая некоторые соединения на поверхности кристалла или меняя состояние некоторых его микроучастков тончайшим скальпелем — ультрафиолетовым лучом. Кроме основного оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) в компьютере есть и несколько аналогичных самостоятельных подразделений. Это, например, сверхоперативная память процессора, куда он помещает некоторые промежуточные результаты своих вычислений и размышлений («пять пишем, два в уме»). Есть и так называемая кэш-память — быстродействующая сверхоперативная память сравнительно небольшой емкости. Но основная масса запоминающих элементов собрана в самом ОЗУ, его емкость (объем памяти) в огромной мере определяет возможности компьютера. Процессор, конечно, умеет обращаться и к дискете, и к жесткому диску, брать оттуда нужную информацию и вписывать новую. Но это операции сравнительно медленные, не очень оперативные. Основная масса информации, с которой работает процессор, должна находиться под рукой, в ОЗУ, так как к любым его ячейкам можно добраться практически мгновенно, за один—два машинных такта. По адресной шине, то есть по многопроводной линии связи, из процессора в ОЗУ идет адрес ячейки, где хранится нужная информация. Дешифратор по этому адресу сразу же находит нужную ячейку, и, в зависимости от полученных указаний, коммутатор производит необходимые переключения для считывания или для размещения новой записи.

Об устройстве оперативной памяти компьютера можно было бы рассказать массу интересного. Например, о том, как организована адресная служба. И о том, что разрядность адреса (проще говоря, его длина) определяет максимальную емкость памяти ОЗУ. Восьмиразрядное двоичное число, например, допускает $2^8 = 256$ комбинаций единиц и нулей (00000001, 00000010, 00000011 и так до 11111111), а значит, при 8-разрядном адресе в ОЗУ может быть всего 256 ячеек памяти. Если же адрес 16-разрядный, то этих ячеек уже может быть $2^{16} =$ 65536 и, значит, емкость ОЗУ составит примерно 65 килобайт (предполагается, что в каждой ячейке 8 запоминающих элементов, то есть в ней хранится 8 бит = 1 байт; Т-276). Чтобы увеличить число возможных адресов, не усложняя адресную шину, можно смириться с некоторой потерей скорости обращения к памяти и передавать адрес в два приема — не за один, а за два машинных такта. При этом 16-разрядный адрес станет как бы 32-разрядным, число возможных адресов возрастет до 2^{32}, а возможная емкость памяти — примерно до 35 гигабайт. Это для персонального компьютера, конечно, многовато, сейчас даже хорошие машины имеют ОЗУ емкостью 16 мегабайт, а средние — 8 или даже 4 мегабайта. Так что, передавая адрес в два такта, можно бы ограничиться 12-разрядным адресом (а значит, 12-проводной шиной), что обеспечит более 67 миллионов его комбинаций и, значит, 67 мегабайт оперативной памяти.

Все эти простейшие прикидки лишь очень и очень отдаленно иллюстрируют проблемы и технические решения, связанные с организацией оперативной памяти вычислительных машин. Сегодня системы компьютерной памяти — это действительно гигантский континент с очень большими самостоятельными территориями, таки-

ми, в частности, как оперативная память. Хорошо бы, конечно, попутешествовать по этому континенту, походить пешком, осмотреться, удивиться великолепным творениям физиков, математиков, инженеров. Но нам пока досталось лишь быстро пролететь над пятым континентом памяти и сверху бросить взгляд на какие-то самые общие его контуры. Правда, на одну подробность хочется все же обратить внимание, о ней любопытно будет узнать каждому, кто занимается схемотехникой.

Классический элемент памяти — триггер (Т-181, Т-274), схема на двух транзисторах (когда-то на двух лампах), один из которых открыт, а другой при этом обязательно закрыт. И в этом устойчивом состоянии триггер будет оставаться до тех пор, пока не появится входной импульс и не переведет триггер в его второе устойчивое состояние: открытый транзистор откроется, закрытый — закроется. В этом состоянии триггер тоже будет оставаться сколь угодно долго (хоть час, хоть сто лет) и опять же до появления очередного импульса. Можно принять, что в одном из двух устойчивых состояний триггер помнит 1, во втором — 0. Из триггеров собирают цепочки (регистры), каждая запоминает столько бит информации, сколько в ней триггеров. А сами триггеры становятся сложнее, в них 4 или 6 транзисторов и несколько разных входов, позволяющих, в частности, записать в любой из триггеров любое число — 0 или 1.

Несмотря на бесспорные достоинства, память на триггерах сейчас используется нечасто, например, когда требуется особо быстрая выборка информации. В основном же в ОЗУ для запоминания используется электрическая емкость: зарядив ее, запоминают 1, разрядив — 0. Такую память называют динамической — в отличие от застывшего триггера, она все время в движении, ее состояние непрерывно меняется, но, разумеется, без потери информации. Дело в том, что емкость постепенно разряжается и ее периодически подзаряжают (например, тактовыми импульсами) — иначе 1 постепенно превратится в 0. Для записи, считывания и подзарядки (английский термин *to refresh*, произносится ту рефреш — освежать) запоминающей емкости она входит в несложную схему на двух—трех полевых транзисторах. Динамическая память работает значительно медленнее статической, но зато она потребляет намного меньше энергии, занимает малую площадь и позволяет создавать в одном кристалле очень много запоминающих элементов.

У статической и динамической памяти есть одна общая черта — и та и другая мгновенно все забывают, если отключить от них электропитание. Так что, когда нужно сохранить информацию, записанную в ОЗУ, ее переписывают на дискету или на жесткий диск. Здесь самое время сообщить, что есть микросхемы памяти, где информация сохраняется и после того, как отключено питание. Имеются в виду не ПЗУ с раз и навсегда «зашитой» информацией при изготовлении микросхемы. Речь идет о микросхемах памяти, куда можно записать информацию, можно стереть ее и записать новую и т. д. И именно эта записанная информация будет храниться вечно и при отключении питания — во время записи под действием запоминаемых электрических (или световых) сигналов определенным образом меняется и затем сохраняется сама структура полупроводника. «Почему же такие микросхемы не используют в ОЗУ?» — наверняка хочет спросить читатель. Главным образом потому, что в них запись идет очень медленно, что для ОЗУ быстродействующих машин просто недопустимо. В то же время микросхемы «вечной памяти» (ее называют флеш-памятью от английского *flash* — вспышка) применяют в компьютерах для записи и сохранения установок и в современном телевизоре (запоминают настройки каналов, уровни громкости, яркости и т. п.). В последнее время основными потребителями флеш-памяти стали цифровые фотоаппараты и цифровые диктофоны.

100. Телефон, который гуляет сам по себе (сотовая связь). Радиосвязь с момента ее появления долгое время называлась «телеграфия без проводов», а затем «телефония без проводов» (телефон: от греческих *теле* — далеко и *фон* — звук). В последнем случае имелось в виду, что по радиолинии передается настоящая речь, живой голос, а не условный телеграфный код. Родилась радиотелефония очень давно, примерно через 15 лет после появления радиотелеграфа, но лишь сравнительно недавно радиотелефон стал столь же удобным, как и его проводной собрат. Более того, объединив усилия, они создали очень популярную ныне радио+телефонную систему — сотовую связь.

Ее пользователи (абоненты) получают небольшой, размером с записную книжку, приемопередатчик. Он вмонтирован в плоскую телефонную трубку с кнопочным телефонным номеронабирателем. Через одну из центральных станций сотовой системы

приемопередатчик по радиоканалу включается в городскую телефонную сеть, и ему присваивается обычный городской номер. Теперь, не связанный проводами, как принято говорить, мобильный радиотелефон ничем не отличается от обычного телефона — с него можно позвонить любому городскому абоненту, заказать междугородный разговор. И самому владельцу радиотелефона всегда можно позвонить из города, обычным способом набрав его номер, — приемник мобильного аппарата всегда включен, всегда ждет вызова.

Для систем сотовой связи выделено несколько диапазонов на дециметровых волнах.

Дециметровые волны, как известно, диапазон ближнего действия, даже в чистом поле они распространяются лишь на расстояние прямой видимости — не дальше горизонта (Т-208, Т-311;41). Так, например, у передатчика с антенной, поднятой на высоту 50 метров (15-этажный дом) на открытой местности радиус действия около 25 километров. Есть определенное достоинство в том, что радиоволны далеко не уходят — в разных регионах можно работать на одной и той же частоте, не мешая друг другу. Но, конечно, во многих случаях, в том числе и для сотовой связи, «короткая дистанция» — большое неудобство. Тем более, что в городе картина сильно усложняется, распространению радиоволн мешают дома, особенно железобетонные, троллейбусные и трамвайные провода, появляется много мешающих отражений. Поэтому в систему сотовой связи вводят довольно много центральных станций, и мобильный телефон, где бы он ни находился, всегда имеет надежную радиосвязь хотя бы с одной из них. У каждой такой центральной станции своя зона уверенного приема: мобильный телефон уверенно принимает центральную станцию, она уверенно принимает не очень мощный (обычно 1—2 ватта) передатчик мобильного телефона. Если изобразить все зоны уверенного приема на одной карте, то получится картина, напоминающая пчелиные соты. Отсюда и название всей системы — сотовая связь.

Сотовая связь пока дело не очень дешевое, однако популярность ее быстро растет во всем мире. А компании, организующие сотовую связь (в Москве: «Билайн», «Сонет», «Мобильные телесистемы» и «Московская сотовая связь»), предлагают пользователям все новые удобства. Например, выехав из Москвы в Санкт-Петербург, вы можете включиться в тамошнюю сотовую сеть, даже не изменив своего номера. И ваши московские друзья будут, как прежде, дозваниваться до вас, даже не подозревая, что вы в другом городе. Создаются станции сотовой связи и в метро, это позволит разговаривать по телефону из вестибюля подземной станции, однако не из поезда, находящегося в туннеле. Есть проекты гигантских спутниковых сотовых систем, они объединят в общую радиотелефонную сеть весь земной шар. Может быть, именно так реализуется идея всеобщей связи: «Каждый может вызвать каждого».

Радио было изобретено более ста лет назад, телефон — еще раньше. Так почему же лишь недавно они объединились в такую удобную систему, как сотовая связь? Среди нескольких возможных объяснений одно бесспорно: прогресс электронной техники. Высокочувствительный приемник превратился в одну микросхему, в одной—двух микросхемах умещается вся телефонная автоматика, и двух-, трехваттный передатчик занимает объем леденца. Надежность аппаратуры стала столь высокой, что автоматические центральные станции сотовой связи годами работают без всякого обслуживания. Да и производство всех этих шедевров стоит во много раз дешевле, чем раньше.

101. Телеграммы доставляются мгновенно (пейджинговая связь). На том же принципе, что и сотовая связь, работает значительно более простая, а значит, и более дешевая — пейджинговая система. У нее также есть сеть центральных станций, но только передающих: абонент через них, по радио получает сообщение, а если он захочет ответить, то должен будет поискать городской телефон. Сообщения абонент принимает на пейджер — на миниатюрный приемник (значительно меньше пачки сигарет) с экраном на жидких кристаллах. Этот экран высвечивает посланное вам сообщение, и одновременно вы слышите звуковой сигнал — пришла телеграмма. Сначала текст этой телеграммы попадет в память пэйджера, а затем уже на экран. Так что при необходимости вы можете просмотреть полученную телеграмму несколько раз — иногда это просто номер телефона, по которому вас просят позвонить, а иногда небольшой текст из двух—трех десятков слов. Чтобы отправить сообщение какому-нибудь владельцу пейджера, вам нужно позвонить в пейджинговый центр, сообщить номер абонента (который фактически является адресом) и продиктовать свой текст. Диспетчер сразу же вводит этот текст

в компьютер и с него тут же отправляет на радиопередатчик. Передатчик, разумеется, в течение дня рассылает большое количество сообщений (он может отправлять в эфир 10—20 вызовов в секунду), но дешифратор, имеющийся в каждом пейджере, выбирает и пропускает на экран только то сообщение, которое имеет данный адрес (номер абонента).

Пейджинговые системы вначале были очень простыми и обслуживали лишь крупные организации. Без всякого текста, а лишь звуковым сигналом пейджер сообщал врачу в большом госпитале или инженеру на химическом комбинате, что их кто-то ищет и нужно немедленно позвонить диспетчеру. Владелец пейджера получал просто звуковой сигнал с одним-единственным смыслом: «Вы нужны». Сейчас появились пейджеры, которые могут принять и сохранить в памяти 10—20 посланий, каждое по несколько сотен слов. Эти послания можно сбросить в компьютер и разобраться с ними потом. Для тех, кто не любит читать, есть пейджеры с синтезатором речи (Т-311;74) — они сами прочтут вам телеграмму, пока вы заняты чем-нибудь другим. Что же касается пейджинговых сетей, то они уже охватывают не только целый город, но и большие регионы. В Европе есть страны, имеющие единую сотовую пейджинговую сеть, которая покрывает всю территорию страны. А это значит, что в этой стране вы можете мгновенно передать сообщение нужному человеку, где бы он ни находился.

102. Может ли все-таки машина мыслить? (Искусственный интеллект). Этот вопрос: «Может ли машина мыслить?» — десятилетиями порождал ожесточенные споры; несколько сменив тональность, они продолжаются и по сей день. Кроме того, размышления писателей и философов, как никогда раньше, дополнились глубокими изысканиями теоретиков и особенно — практическими работами. Их цель — научить компьютер решать задачи все более сложные, все более близкие к тому, что умеет мыслящий человек. Передав электронике и автоматике массу однообразной неинтересной работы, освободив человеческий мозг от ужасной рутины бессчетных подсчетов, наблюдений, проверок, сравнений, включений и выключений, математики и инженеры пытаются создать для нас более квалифицированных и свободно размышляющих электронных помощников, с огромной памятью, очень быстро перерабатывающих огромные объемы информации. Эта область исследований и разработок объединена названием искусственный интеллект, ее задачу можно образно определить так: дать землекопу экскаватор. Этот образ имеет прямое отношение не только к будущим роботам высшей квалификации или к будущим нашим портативным электронным консультантам, знающим больше нашего и соображающим лучше нас. Сегодня землекопа напоминает большинство пользователей персональных компьютеров: они ковыряют землю лопатой, а рядом стоит мощный экскаватор, управлять которым может лишь профессионал-экскаваторщик. Мощный усилитель нашего интеллекта — компьютер — тоже не очень-то доступен рядовому пользователю. Он, пользователь, как правило, лишь пользуется программами, которые разработал программист, а сам в подавляющем большинстве случаев программировать не умеет. И это вполне объяснимо: сегодня программирование — наука и искусство высочайшего уровня, чтобы освоить его, многим пользователям пришлось бы забросить свою основную профессию.

Где же выход? Ожидается, что ситуацию изменят компьютеры пятого поколения. Именно ими сейчас больше всего интересуются специалисты в области искусственного интеллекта, планируя создать для этих машин интеллектуальный интерфейс — принципиально новую систему общения пользователя с машиной. Система позволит общаться с компьютером на естественном языке, в том числе на профессиональном языке врача или инженера. Возможно даже, к тому времени решится задача общения голосом. Цель интеллектуального интерфейса: по результатам достаточно свободной беседы система должна совместно с пользователем, уточняя его пожелания и задачи, создать компьютерную программу. А после того как задача будет решена, она выдаст результат в наиболее удобной и понятной форме, в частности, в виде рисунков и графиков.

В машинах пятого поколения должны появиться еще две системы — решатель и база знаний. Решатель — это мастер программирования, он берется за дело, получив информацию от интеллектуального интерфейса после его беседы с пользователем. Базу знаний не нужно путать с базой данных, в новой системе хранятся особым образом организованные знания о какой-то предметной области (например, о сосудистой хирургии) и о том, какими методами в этой области анализируются и решаются ее задачи.

Уже давно специалисты по искусственному интеллекту от общих размышлений перешли к решению конкретных и даже практических задач. Задачи эти представляются пока еще очень сложными, но, бесспорно, уже есть продвижение вперед (Т-311;97). И не очень известная пока область науки уже, видимо, в обозримом будущем наверняка ошеломит мир своими реальными успехами.

103. Телефонист становится радистом (высокочастотные кабельные линии). Чуть ли не с самого своего рождения радио вступило в своего рода соперничество с проводной связью — каждая из этих областей электросвязи стремится продемонстрировать свои достоинства, показать, что в определенных условиях имеет бесспорные преимущества. Вместе с тем уже довольно давно обе области объединились: на дальних линиях связи они действуют совместно. Телефонисты применяют чисто радиоэлектронную технику для уплотнения своих проводных линий, для передачи по одной паре проводов сразу нескольких разговоров.

На междугородных телефонных станциях появились, как их назвали, стойки уплотнения — высокие металлические шкафы, заполненные самыми настоящими радиопередатчиками, приемниками, фильтрами, модуляторами, усилителями и другой чистейшей радиотехникой. Каждый передатчик работает на своей частоте (обычно до 150—200 килогерц), он нагружен (промодулирован) одним телефонным разговором и посылает его в линию. А на другом конце линии приемник, настроенный на частоту этого передатчика, детектирует принятый сигнал и выделенную низкую частоту посылает нужному абоненту. Происходит то же самое, что и при радиопередаче (Т-205, Т-206, Т-209), только электромагнитные волны двигаются не в свободном пространстве, а вдоль проводов.

Передатчики работают все сразу, и по одной паре медных проводов одновременно проходит несколько десятков телефонных разговоров. А на частотную территорию одного из телефонных каналов втискивают два—три десятка телеграфных каналов: для передачи речи нужна полоса частот 3 килогерца (например, от 61 до 64 килогерц), а для телеграфного канала — всего 50 герц (при скорости передачи около 10 букв в секунду). У каждого телеграфного канала тоже свой передатчик, он работает на своей поднесущей частоте, все вместе они модулируют несущую частоту телефонного передатчика, который уже, разумеется, телефонным разговором не нагружают.

Все это легко рассказывается, но не так-то просто делается и не сразу осуществлялось. При больших расстояниях приходилось ставить промежуточные усилители, различными ухищрениями улучшать характеристики самой линии, бороться с проникновением одного канала в другой. Проблем хватало, но тщательно отработанные системы многоканальной телефонии по проводам несколько десятилетий были основой дальней связи.

А потом пошли системы многоканальной связи по высокочастотному кабелю. По нему уже передается полоса частот до 10—20 мегагерц, по одному кабелю ведутся сотни и даже тысячи телефонных разговоров, передается несколько телевизионных программ, каждая из которых, как известно, занимает полосу частот более 6 мегагерц (Т-256). Правда, за многоканальность кабельных линий приходится немало платить: широкополосный сигнал чуть ли не через каждые 3 километра усиливают, врезая в кабель необслуживаемый усилитель. Следующим огромным шагом стали линии световой связи по оптическому волокну (Т-311;72). Они, скорее всего, вытеснят классический на дальних линиях кабель. Особенно после недавнего рекорда: световой сигнал уже проходит 1000 километров без усиления и регенерации. В световодных линиях, как и в классических кабельных, главным действующим лицом остается электроника: именно она формирует весь многоканальный комплекс, объединяет в единый модулирующий сигнал многочисленные телефонные, телевизионные и иные каналы, с их разными поднесущими частотами или с их строго чередующимися импульсами (временно́е разделение каналов). А на приемном конце кабельной или световодной линии не кто иной, как радиоэлектроника четко разделяет все эти каналы и каждый направляет именно тому абоненту, которому этот канал предназначался. Вся эта деятельность электроники сейчас стала самостоятельной областью, именуемой каналообразованием.

Заговорив о кабельных линиях связи, нельзя не вспомнить о героических страницах их истории — о прокладке кабеля через океаны и моря. Первый подводный кабель был проложен в 1850 году, а через каких-то семь лет заработал первый телеграфный кабель длиной 3800 километров, проложенный по дну Атлантического океана и связавший Европу с Америкой —

«мысль со скоростью мысли пронеслась через океан».

Вообще-то этот первый трансатлантический кабель был не совсем первым — до него уже были сделаны две попытки уложить кабель на дно океана, но обе они закончились трагически: при укладке кабель обрывался и экспедицию прекращали. Да и первый трансатлантический тоже оказался несчастливым. Недолго ликовали далекие континенты, избавившись, наконец, от разобщенности, — через две недели в кабеле произошел пробой, и телеграммы перестали путешествовать через океан.

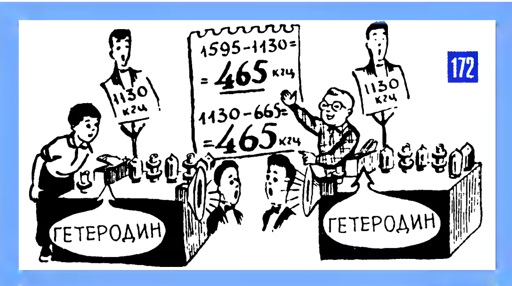
Правда, в те динамичные времена огорчались недолго, вскоре через Атлантику было проложено несколько новых кабелей, надежно связавших два континента телеграфом. И лишь примерно через 9 лет удалось проложить трансатлантический кабель для телефонной связи, сооружение совсем иного уровня сложности. В телефонный кабель, в частности, врезали 51 ламповый усилитель, каждый был смонтирован в трубе длиной 2,5 метра и диаметром 7 сантиметров и был рассчитан на 2—3 десятилетия надежной работы. Вскоре подводные телефонные кабельные линии прошли через многие моря и океаны, сегодня одних только трансокеанских кабелей несколько десятков. На помощь этой старой гвардии уже с восьмидесятых годов приходят многожильные кабели из оптического волокна, а также космические «кабели» — многоканальные линии связи через стационарные спутники. Так что позвонить с континента на континент стало не сложнее, чем из одного городского района в другой.

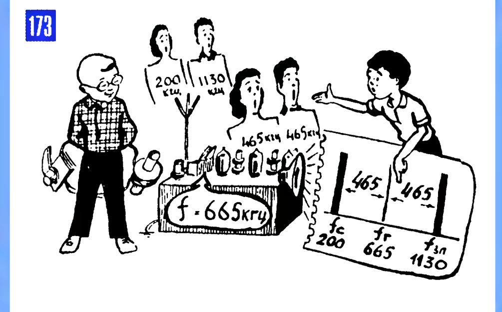
104. Непреодолимый пока тепловой барьер (мощные транзисторы). Любой усилительный прибор в реальной схеме обязательно должен обеспечить усиление мощности (Т-124, Т-125). В большинстве случаев усиливаются очень слабые сигналы, и даже после усиления их мощность оказывается небольшой. Однако в ряде случаев на выходе нужен не просто усиленный сигнал, но сигнал, доведенный до высокой мощности. В усилителях низкой частоты, например, нередко нужна выходная в мощность в десятки и сотни ватт, в больших радиопередатчиках в антенну передается высокочастотный сигнал мощностью в десятки, сотни и даже тысячи киловатт.

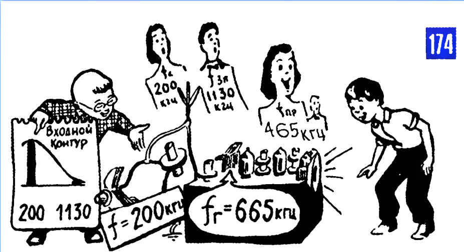
Главная трудность при создании мощных усилителей — отвод тепла. Усиленный сигнал формируется из постоянного тока (Т-125), энергия которого далеко не полностью превращается в энергию сигнала. То, что остается неиспользованным, выделяется в виде тепла и приводит к нагреванию усилительного прибора. А нагревание — вещь крайне неприятная. В электронной лампе из-за него ухудшается вакуум, в полупроводниках — увеличивается содержание неосновных свободных зарядов (Т-128): их количество удваивается при нагреве кремния на каждые 6°С, германия — на каждые 10°С. В итоге с ростом температуры ухудшаются характеристики диодов и транзисторов, а при сильном перегреве происходит лавинообразное нарастание тока и в итоге — электрический пробой. В выходных каскадах усилителей, где счет идет на киловатты, используют мощные электронные лампы с водяным охлаждением анода. В полупроводниковых приборах ограничиваются отводом тепла через радиаторы и принудительным воздушным охлаждением (обдув вентиляторами). Предельная мощность транзисторов — сотни ватт, их получают за счет большого тока (до сотни ампер) и (или) за счет высокого рабочего напряжения (обычно 30—80 вольт, в некоторых приборах до 200 вольт). Существует и класс высоковольтных транзисторов, они «терпят» обратное напряжение до 1000, а некоторые и до 5000 вольт. Перегрев создает реальную опасность и для интегральных схем: каждый их элемент выделяет небольшую тепловую мощность, но элементов этих очень много и их суммарное тепловыделение вполне ощутимо. Во всех случаях для германиевых приборов перегрев особо опасен, их допустимая рабочая температура — до 70°С, кремниевых — до 150°С.

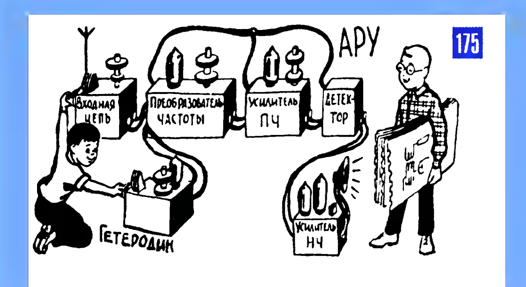
В борьбе за мощность полупроводниковых приборов перегрев и опасность теплового пробоя — проблема очень серьезная, но далеко не единственная. При создании мощных биополярных транзисторов приходится, в частности, бороться с оттеснением эмиттерного тока от края эмиттера и поэтому его разделяют на сотни элементов — соединенных между собой отдельных эмиттеров. А в полевых мощных транзисторах приходится расширять канал, в котором заряды идут от истока к стоку. Его обычно разветвляют на большое число компактно расположенных узких каналов, суммарная ширина которых составляет десятки сантиметров.

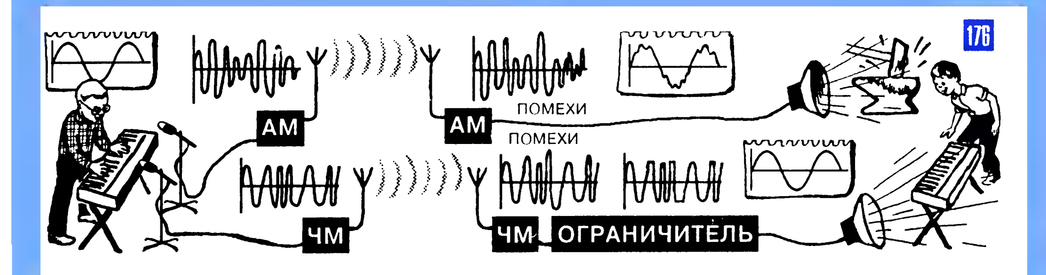
В области большой и очень большой мощности электронные лампы пока твердо удерживают свои позиции. И трудно сказать, удастся ли полупроводниковым приборам войти в эту область. А если удастся, то будут ли здесь достоинства транзисторов

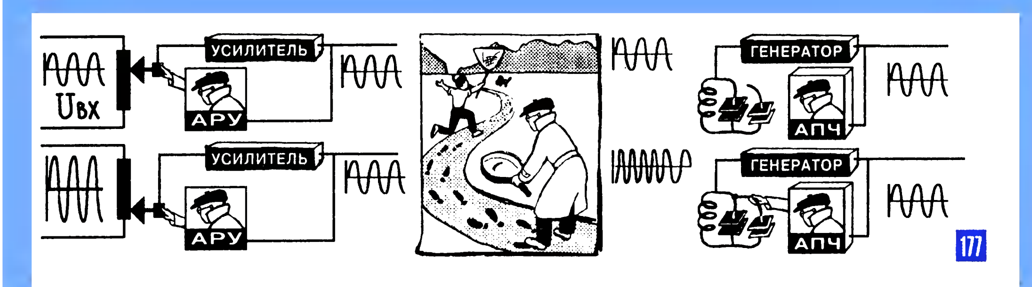

172
1130 кгц
1595−1130=
=465 кгц
1130−665=
=465 кгц
1130 кгц
ГЕТЕРОДИН
ГЕТЕРОДИН


173
200 кгц
1130 кгц
465 кгц
465 кгц
f=665 кгц
465
465
fc 200
fг 665
fзп 1130


174
fc 200 кгц
fзк 1130 кгц
fпр 465 кгц
Входной контур
200 1130
f=200 кгц
fг=665 кгц


175
АРУ
Входная цепь
Преобразователь частоты
Усилитель ПЧ
Детектор
Гетеродин
Усилитель НЧ


176
АМ
АМ
ПОМЕХИ
ПОМЕХИ
ЧМ
ЧМ
ОГРАНИЧИТЕЛЬ


УСИЛИТЕЛЬ
Uвх
АРУ
УСИЛИТЕЛЬ
АРУ
ГЕНЕРАТОР
АПЧ
ГЕНЕРАТОР
АПЧ
177

столь же убедительными, как в электронике малой и средней мощности.

105. Старость — не радость (ресурс электронных приборов). Когда появились первые полупроводниковые диоды и транзисторы, то в числе их главных достоинств называли огромный по сравнению с электронными лампами срок службы, чуть ли ни бесконечный. Типичная усилительная лампа имела гарантированный средний ресурс (время безотказной работы) 5—10 тысяч часов. Если пользоваться приемником или телевизором по 3—5 часов в день, то этого хватит на 3—4 года. Реально лампы, бывало, работали даже по 10 лет и чаще всего они выходили из строя из-за того, что после длительной работы при высокой температуре терял свои свойства или даже разрушался тончайший активный слой на поверхности катода (Т-152), и он, как принято говорить, терял эмиссию. Кроме того в лампах случались такие неприятности, как замыкание между электродами, например, из-за провисания сетки (Т-154). В целом же большую ЭВМ первого поколения приходилось в среднем каждые 2—3 часа останавливать, чтобы заменить вышедшую из строя лампу.

В транзисторах ничего подобного не происходит, в полупроводниковом кристалле в процессе работы ничего, казалось бы, не разрушается и он должен жить и работать вечно. В действительности же и у полупроводниковых приборов с возрастом появляется опасность непоправимых повреждений. Прежде всего это касается полевых транзисторов со структурой МДП (металл-диэлектрик-полупроводник; Т-303), их смело можно считать основой интегральных схем. В диэлектриках могут происходить процессы, которые так и называют — старение: разрушение межмолекулярных связей, лавинообразное окисление, «сшивание» соседних самостоятельных молекулярных цепочек и другие. Старение происходит из-за естественных тепловых процессов или слабого радиоактивного фона и не без участия электрических полей, участвующих в работе транзистора или диода. В результате старения диэлектрик в какой-то мере теряет свои изолирующие свойства, и даже небольшое напряжение, которое он прекрасно выдержал бы в молодости, приводит к электрическому пробою. Технологи, разумеется, принимают меры, чтобы ослабить процессы старения, и ресурс (продолжительность безотказной работы) современных полупроводниковых приборов измеряется десятками тысяч и даже сотнями тысяч часов. Поэтому, если в вашем приемнике через сотню-другую часов после покупки выйдет из строя транзистор или микросхема, к этому нужно отнестись как к редкому, но все же объяснимому невезению.

106. Подправляя творение природы (замедляющая система). В выражении «электромагнитная волна движется со скоростью света» есть, казалось бы, какая-то неаккуратность — сам свет тоже электромагнитная волна. Однако в данном выражении «скорость света» употребляется как некая физическая константа, а именно как скорость света в вакууме $c = 300\,000$ километров в секунду. И совсем не обязательно, чтобы в реальной среде свет двигался со скоростью света в вакууме (c). Ничто в природе не может иметь скорость больше, чем c, но в некоторых веществах свет как бы вязнет в молекулярной структуре и движется чуть-чуть медленнее, чем в вакууме, со скоростью меньшей, чем c. Для световых лучей природа создала такие замедлители, а вот для радиоволн, главным образом для СВЧ (Т-311; 36), эту задачу пришлось решать физикам и инженерам. «Медленные радиоволны» понадобились им в приборах, где электромагнитная волна движется совместно с потоком электронов, и они подпитывают волну своей энергией, усиливают ее. Эффективная подпитка происходит лишь в том случае, если скорости самой волны и электронов примерно равны. Не так-то просто довести скорость электронов до величины c, проще и удобнее оказалось искусственно снизить скорость электромагнитной волны, несколько подправить это замечательное творение природы.

В качестве замедляющей системы используют волновод (Т-311;36), внутри которого находятся очень точно рассчитанные и изготовленные спирали, гребенки, перегородки, штыри. Они заставляют волну двигаться как бы по сложной траектории, удлинять свой путь, а значит, снижать скорость перемещения вдоль волновода. В некоторых замедляющих системах удалось получить поразительный количественный результат, вполне достойный книги рекордов (Т-311; 124), — скорость электромагнитной волны снижается в 50 раз, то есть вместо 300 тысяч километров в секунду радиоволна движется со скоростью 6 тысяч километров в секунду.

Замедлители скорости электромагнитных волн — прекрасный пример того, как глубокое понимание существа дела позволяет

очень простыми средствами решить задачу, неразрешимую с точки зрения непосвященного человека. Ну кто бы подумал, что можно в 50 раз замедлить электромагнитную волну? Похожих примеров в радиоэлектронике очень много (Т-311;127,128).

107. Как определить свое место в мире (радионавигация). Успехи радиоэлектроники принесли особую радость морякам, которые раньше не имели никакой связи с землей, в трудную минуту не могли попросить о помощи и далеко не всегда имели возможность определить, где находится их судно и куда идет.

Создав надежные и точные системы навигации для морских судов, радисты, когда пришло время, дали возможность ориентироваться в пространстве самолетам и космическим аппаратам. Радионавигационные системы решают несколько задач. Они, например, позволяют определить расстояние до специального передатчика, местонахождение которого точно известно. В одном из вариантов такого дальномера с бортовой радиостанции морского судна или самолета наземному передатчику посылают импульс-запрос и получают от него импульс-ответ. По времени запаздывания ответа как раз и вычисляется расстояние, в некоторых системах с ошибкой не более 100 метров.

Есть навигационные системы, которые работают на сверхдлинных волнах (20—30 тысяч метров) и поэтому радиус действия у них несколько тысяч километров. Местонахождение самолета или морского судна можно определить как место пересечения двух линий, полученных с помощью направленной антенны (Т-311;47), которая поочередно принимает сигналы двух разнесенных наземных передатчиков-маяков. Есть и другие методы, например, такой: принимая сигналы двух радиодальномерных передатчиков, по запаздыванию одного из сигналов можно вычислить свое местонахождение с точностью до 1—5 километров.

Новые возможности открыли спутниковые навигационные системы, например, те, что принимают сигнал специального судового передатчика, анализируют его с помощью бортового компьютера и результат отправляют заказчику. Такие системы уже позволяют с точностью до нескольких метров определить местонахождение какого-либо подвижного объекта, например, угнанного автомобиля или заблудившегося туриста. Во многих навигационных системах высокой точности важнейшую информацию дает определение фазы принятого сигнала (Т-311;89). Везде, где это возможно и целесообразно в навигационные системы вводят радиолокаторы — пассивные (принимают отраженный сигнал) и активные (принимают сигнал специального бортового передатчика). Они по самой своей сути предназначены для определения главных навигационных параметров: расстояние до объекта, его местонахождения и скорости.

Особое место занимают системы космической навигации, сочетая радиометоды с оптическими. Один из типичных примеров: на космическом аппарате есть небольшой бортовой телескоп, с помощью электронной автоматики он держит в поле зрения заранее выбранную яркую звезду, она и служит одним из ориентиров при вычислении координат и направлений. Самостоятельной областью стала и авиационная радионавигация, взявшая на себя большую часть ответственности за безопасность полетов.

108. Охотники за атомными частицами (дозиметрия). В течение десятилетий электроника помогала физикам обнаруживать ядерные частицы, наблюдать за их превращениями. В итоге были созданы огромные детекторы частиц, которые работают с гигантскими ускорителями и помогают понять устройство нашего мира. Но помимо этих уникальных установок электроника создала немало небольших серийных приборов для регистрации частиц. Это дозиметрические приборы — дозиметры, радиометры, рентгенометры. Сегодня, к сожалению, они пользуются большим спросом. Многим людям понадобилось или даже стало необходимо измерить уровень радиоактивного излучения почвы, стен своей комнаты, морковки, купленной на рынке.

От дозиметрических приборов не требуется умение ловить отдельные частицы, эти приборы должны замерить основные параметры целых потоков частиц — радиоактивных излучений. Это могут быть альфа-лучи (поток двух «склеевшихся» протонов — ядер гелия), бетта-лучи (поток электронов) и гамма-лучи (поток гамма-квантов).

В числе наиболее часто измеряемых характеристик: полученная доза (порция) облучения и энергия, которую приносит радиация за единицу времени или, иначе говоря, ее мощность. Существуют разные методы измерения и разные единицы, в которых отображают эти характеристики при оценке уровня радиации, но чаще других можно встретить рентген (мили- и микрорентген) в час. Природная, как ее называ-

ют, фоновая радиоактивность составляет 5—10 миллирентген в час (определение «в час» обычно не произносят, оно как бы «подразумевается»).

Прибор для оценки уровня радиации начинается с детектора излучений, как правило, счетчика Гейгера-Мюллера. Это заполненная газом двухэлектродная стеклянная или металлическая трубка, размером с короткий карандаш. На электроды подано высокое постоянное напряжение (300—400 вольт), и, когда в трубку влетают частицы (легко проскочив через стекло или тонкий металл) или гамма-кванты, они на своем пути ионизируют газ. Между электродами на короткое время появляется токопроводящий участок из ионов и проскакивает импульс тока. Электронная схема первым делом превращает его в звуковой щелчок и по частоте этих щелчков можно судить об уровне радиации: чем чаще слышны щелчки, тем выше этот уровень. Кроме того, несложные схемы суммируют число импульсов тока в счетчике и пересчитывают его в общепринятые единицы измерения — рентгены (мили- и микрорентгены) в час. Результат измерений выдает стрелочный прибор (обычный миллиамперметр, шкала которого размечена в единицах уровня радиоактивности) либо в цифровом виде — ЖК-индикатор. В переносных приборах электроника выполняет еще и вспомогательную операцию: превращает небольшое напряжение питающей батарейки в высокое напряжение, необходимое для счетчика (Т-288).

109. Электрический сигнал, который переносит большие деньги (банковская система СВИФТ). Когда банк, выполняя задание своего клиента, пересылает деньги в другой город или в другую страну, то сами наличные деньги никуда не перемещаются. Из банка в банк пересылается особый бумажный документ, по которому на месте получателю выдадут нужную сумму. Платежное поручение может быть направлено в виде шифрованной телеграммы, она для страховки может сопровождаться контрольными запросами и дополнительными подтверждениями, — банки придумали немало секретов, чтобы защититься от квалифицированных злоумышленников. Вместе с тем известны крупные хищения денег, но главным образом с помощью фальшивых бумажных документов.

Самая большая межбанковская система для крупномасштабных финансовых операций СВИФТ (SWIFT) имеет несколько сотен абонентов почти в 100 странах. Это глобальная компьютерная сеть со своими серверами, маршрутизаторами и собственными спутниковыми каналами связи, с подключением к сети уже не через телефонную, а через специальную соединительную линию. Главная особенность системы СВИФТ — высокая надежность: каналы связи и аппаратура имеют резервы, протоколы обмена информацией (а это, как правило, указания «Прошу выплатить...») превращаются в многократно засекреченные коды, многие из которых знают только компьютер и проверяющий его компьютер-контролер.

Электроника, ворочающая большими миллиардами — кредитные карточки с магнитной полоской (Т-311;14), локальные сети для внутрибанковских расчетов (Т-311;90) и гигантская межконтинентальная сеть СВИФТ, — все это уже неотъемлемая часть мировой финансовой системы. Кто-то подсчитал, что если бы не электроника, то в финансовой сфере работало бы чуть ли ни все трудоспособное население земного шара.

110. Соединение без посредников и через них (многоконтактные разъемы). Довольно часто приходится соединять многопроводным кабелем (как минимум — двухпроводным) разные блоки какого-либо электронного комплекса, например, подключать видеомагнитофон к телевизору, или принтер и монитор к системному блоку компьютера, или головные телефоны к приемнику. Для этого почти всегда используют разного типа разъемы. Разъем состоит из двух частей: в одной контактные штырьки, в другой — гнезда, обычно пружинящие; штырьки (сразу все) вставляются в гнезда, осуществляя таким образом электрическое соединение. Разъемы устроены так, что каждый штырек может попасть только в свое гнездо — при соединении никакие вольности недопустимы. В двухпроводных разъемах роль одного из двух соединяемых проводов может играть наружняя экранирующая оплетка, она защищает второй (центральный) провод от внешних наводок. Соответственно и разъем устроен так, что с помощью пружинящих контактов внешний провод (экран) соединяется с таким же внешним проводом другой части разъема, а внутренний (центральный) провод — с внутренним. Бывает, что экранирующая оплетка не работает по совместительству, как самостоятельный проводник, она лишь защищает двухпроводную соединительную линию.

В одном из специализированных московских магазинов имеется большая витрина,

где выставлены разъемы, применяемые в современной радиоэлектронной аппаратуре, — их десятки, если не сотни, разных типов. Рассказать о всех, разумеется, невозможно и тем, кто будет приобретать электронные аппараты, остается напомнить: будьте бдительны, думайте о совместимости аппаратуры вплоть до разъемов. Правда, в трудную минуту полезно вспомнить, что иногда два разных разъема удается состыковать с помощью посредника (переходника) — соединительного устройства, одна сторона которого подходит к первому разъему другая — ко второму.

Объять необъятное, разумеется, невозможно, но несколько наиболее распространенных разъемов полезно знать. Один из них используется в низкочастотной аппаратуре (К-4; 16), другой — многоконтактный универсальный разъем СКАРТ (его еще называют евроразъем; контактная часть — вытянутый прямоугольник с одной скошенной короткой стороной) можно встретить во многих телевизорах и, наконец, самые простые и очень распространенные в бытовой видеотехнике (телевизоры, видеокамеры, видеомагнитофоны) двухконтактные разъемы штекер-гнездо. Специальный разъем существует для подключения наушников — штекер, вставленный в гнездо, не только подсоединяет наушники к выходу усилителя, но и отключает от него громкоговоритель, отжав внутри гнезда пружинящий контакт. Они обычно встречаются парами или тройками — один разъем для видеосигнала, другой (или два — в случае стереосистемы) — для звукового.

111. Чтобы не упасть — держись за землю (заземление). Владельцы сложной электронной техники, прежде всего компьютеров, могут неожиданно попасть в неприятность, за которой последует падение в глубокую финансовую пропасть. Речь идет о непоправимом пробое в микросхемах под действием «незапланированных» электрических полей и напряжений. Они, в частности, могут появиться в результате разного рода внешних наводок: накопившийся постепенно заряд, не имея иного выхода, в какой-то момент пробьет себе путь через микросхемы, попутно уничтожив их полевые транзисторы, очень чувствительные к малейшему перенапряжению. Другой вариант: два соединенных компьютерных блока, например, системный блок и принтер (Т-277) питаются от сети, каждый через свой блок питания. А в сеть эти блоки включены так, что между их общими проводами действует небольшое напряжение — оно-то и станет причиной повреждения микросхем. Не вдаваясь в подробности, можно сразу же назвать рецепт, предотвращающий подобные неприятности, — это заземление. В компьютере и во всем, что с ним соединено (принтер, сканер, монитор и др.), как и в любом электронном аппарате, есть общий провод (Т-156, Т-161) и его нужно заземлить, соединить с землей. Проще всего для этого использовать водопроводную сеть или центральное отопление, часть их трубопроводов проложена в земле. Трубу надо тщательно зачистить в том месте, куда будет присоединен провод, идущий к аппаратуре. А сам этот провод надо сильно прикрутить к трубе, чтобы между ними был надежный контакт.

Заземление уберет все различия в напряжениях на отдельных блоках компьютерного комплекса, а также откроет путь для немедленного стекания зарядов, появляющихся под действием внешних электрических полей.

112. Сам себя проверил и сам себе поставил двойку (встроенный контроль). Если у вас вдруг погас экран телевизора, не пытайтесь по телефону выспросить у знакомого радиоинженера, что конкретно случилось с вашим аппаратом. Конкретных причин может быть как минимум несколько десятков. Чтобы выявить какую-либо из них, надо повозиться, может быть, даже померить токи, напряжения, проверить некоторые детали. Иногда неисправность типичная и обнаружить ее несложно, но бывает и такое, что обнаруживается она лишь благодаря интуиции, смекалке и очень высокой квалификации мастера. Не случайно хорошо известный всем телевизионным мастерам С. А. Ельяшкевич — автор многих учебных и справочных книг по телевидению, договорившись с крупной московской мастерской, выезжал туда для анализа самых непонятных неисправностей. Это была и помощь коллегам, и прекрасная школа для самого телевизионного мэтра.

Сегодня электронная аппаратура усложнилась настолько, что подобными кустарными методами искать неисправность уже просто бессмысленно — слишком много времени на это уйдет. И появились встроенные в аппаратуру специальные электронные блоки, задача которых — контролировать все остальные узлы, сообщать об их исправности или о том, какие где замечены отклонения от нормы. Вы, например, можете получить на дисплее персонального компьютера подробную информацию о

состоянии его узлов, в том числе важные эксплуатационные сведения, например, о свободном месте в ОЗУ или на диске.

Проводится контроль за состоянием отдельных БИС (больших интегральных схем) и во время их производства, и после того, как БИС установлена в аппаратуру. Для технологического контроля в кристалле создан самостоятельный электронный участок, в котором обычно задействовано 10—30 процентов деталей от их общего числа в самой микросхеме. После того как микросхема изготовлена, участок встроенного контроля обычно убирают — выжигают лазерным лучом. Для контроля за уже работающей микросхемой в ней тоже создается специальный участок, в нем, кстати, деталей может быть в 2—3 раза больше, чем в основной части микросхемы. Уже одна эта цифра говорит о том, какое большое значение придается встроенному контролю в современной электронной аппаратуре. Обычно БИС имеет 1—2 вывода для подключения к блоку встроенного контроля и быстрого его опроса о состоянии микросхемы.

113. О чем поет водопроводный кран (релаксационный генератор). Многим наверняка приходилось слышать, как вдруг в водопроводной системе появляется сильный низкий звук. Иногда от него можно избавиться, посильней закрутив кран или, наоборот, немного открыв его, пустив воду. Этот звук создается случайно образовавшимся в системе гидравлическим релаксационным генератором. Он и заставляет какую-либо деталь вибрировать, быстро двигаться туда-обратно, используя для этого энергию постоянного давления воды или постоянного ее потока. Из постоянного рождается переменное — процесс, очень важный для техники и для природы, особенно для живой природы.

Слово релаксация идет от латинского *релаксатио* — ослабление, расслабление. Генератор назван этим словом потому, что типичный ход событий в нем выглядит так: какой-то важный силовой показатель, например, давление воды или электрическое напряжение неуклонно нарастает, накапливает энергию; но когда накопление доходит до какого-то порога, система как бы открывает для себя возможность резко сбросить все, что накопилось. И сбрасывает — расслабляется, то есть релаксирует. Но остаться навсегда в расслабленном состоянии — не получается. Система устроена так, что отдых быстро заканчивается, и начинается новый цикл накопления энергии. А за ним снова ее сброс, релаксация, снова накопление — идет нормальный пульсирующий процесс, работает релаксационный генератор.

Проще всего проиллюстрироватть представленный выше сценарий простейшей схемой, куда входит конденсатор и пороговый элемент (Т-311;43) — газорязрядная лампа, подключенная к конденсатору С. При малых напряжениях ток в ней вообще отсутствует, но когда напряжение достигнет какой-то определенной величины, газ мгновенно ионизируется, и через лампу идет ток. События разворачиваются так: конденсатор С постепенно заряжается от батареи Б через резистор R. Когда напряжение U_c на конденсаторе достигает величины $U_з$ («зажигание»), через лампу идет ток, и конденсатор разряжается, то есть напряжение на нем падает. А значит, прекращается ток через лампу и начинается новый цикл зарядки конденсатора.

Если всмотреться, то похожие события обнаружатся и в других релаксационных генераторах. В водопроводной системе, например, они могут выглядеть так: давление растет и в какой-то момент оно отжимает пружину или резиновую прокладку, открывая путь воде; происходит сброс давления, пружина (резиновая прокладка) возвращается на место, давление нарастает и все повторяется сначала.

Водопроводный кран, когда поет, то напоминает нам, что в электронных схемах могут быть не только задуманные и нужные для дела релаксационные генераторы, но и возникшие помимо нашей воли, из-за какого-то не запланированного объединения накопителя энергии и порогового элемента. И не всегда просто обнаружить релаксацию и устранить ее.

114. Поезд следует с остановками PDP-8, Nova, Apple, IBM PC и далее везде (из истории персональных компьютеров). История радиоэлектроники, какую ее область ни возьми, буквально переполнена героическими и драматичными событиями, скрытыми, как правило, от широкой публики. Практически любое новое направление развивалось по нескольким путям, у каждого были свои идеологи, энтузиасты и беззаветные труженики, свои великолепные достижения, просчеты и надежды. Но, как мы часто говорим, побеждал сильнейший, и все остальное просто отмирало.

Возьмем, к примеру, радиопередатчики. Первые пятнадцать—двадцать лет главными действующими лицами в них были электрическая искра или электрическая дуга —

эти процессы сопровождаются высокочастотным током, который и направляли в передающую антенну. Создателям искровых и дуговых радиопередатчиков пришлось решать сложные инженерные задачи, им удалось преодолеть массу технических трудностей, но от главных недостатков это не избавляло. Так, например, из-за неизбежной модуляции тока в искре и в дуге передатчик мог работать только в телеграфном режиме.

В какой-то момент, после долгих исследований и расчетов, появились еще и высокочастотные машинные генераторы — подобие тех, что на электростанции вырабатывают переменный ток с частотой 50 герц. Но для радиопередатчиков требовались не герцы, а сотни килогерц и мегагерцы, и, чтобы увеличить частоту, нужно было быстрее вращать ротор генератора. При слишком быстром вращении ротора он просто разлетелся бы на куски из-за центробежных сил, так что шедевр техники — высокочастотный машинный генератор, как, впрочем, и дуговой, в лучшем случае давал частоту 100—200 килогерц, то есть работал только на самых длинных волнах.

А потом были изобретены электронные лампы — в 1904 году диод и в 1906 году — триод. Примерно через 10—15 лет триод приобрел черты технического прибора и стал основой множества электронных схем, в том числе высокочастотных ламповых генераторов (Т-157, Т-170). Эпоха искровых, дуговых и машинных передатчиков кончилась, оставив, правда, ламповой электронике многие свои замечательные наработки —резонансные контуры, антенны, системы питания.

Этот наглядный пример поможет, видимо, понять другие события, значительно более сложные и запутанные: у привычного и как бы появившегося сразу в готовом виде ПК (персонального компьютера) тоже непростая предыстория. С появлением ПК какие-то линии компьютерного развития прервались, а другие переместились, поддержав становление и развитие самого популярного представителя большого компьютерного семейства.

Многие солидные источники утверждают, что первый персональный компьютер изготовили в небольшом гараже два молодых американских инженера (американцы, кстати, очень любят, когда великое дело скромно начинается в гараже или когда будущий миллионер входит в бизнес с одним долларом в кармане). То, что сверхзадачей создателей первого ПК был компьютер именно для личного, для персонального пользования, не вызывает никаких сомнений. И они (создатели ПК) сразу же сделали многое, чтобы не только профессиональный программист, но и человек любой профессии — инженер, биолог, редактор — мог бы без особого труда освоить их персональный компьютер, чтобы пользователи были с ним «на дружеской ноге» и могли бы сразу получать от него реальную помощь. Однако то, что было сделано создателями первого компьютера, начиналось не с нуля.

К моменту официального появления первых ПК у электронных вычислительных машин была уже чрезвычайно насыщенная событиями тридцатилетняя биография. Не затрагивая доисторический период (машина на электромагнитных реле «Марк 1», лампово-релейные и ламповые «штучные» компьютеры «ЭДВАК», «ЭНИАК», «СЕАК», «УИРВЛИНД» и другие), упомянем первый серийный компьютер фирмы IBM — модель 701 (1952 год): 4 тысячи ламп, 12 тысяч германиевых диодов, тактовая частота 1 мегагерц (когда-то начиналось с килогерцев), 10 тысяч сложений и 2 тысячи умножений в секунду, 72 электронно-лучевые трубки памяти по 1024 бит каждая, ввод данных с перфокарт, вывод — на алфавитно-цифровой принтер.

История ЭВМ напоминает несколько быстрых потоков, каждый с несколькими грандиозными водопадами:

электронные лампы — транзисторы — микросхемы — микропроцессоры — однокристальные ЭВМ ....

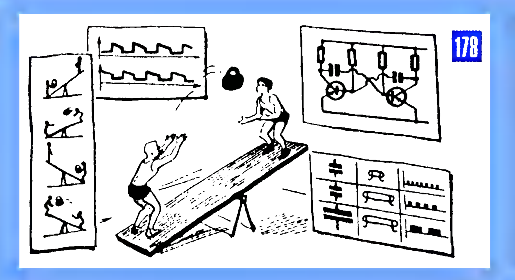
транзисторные регистры ОЗУ (оперативной памяти) — память на ферритовых элементах — ОЗУ на микросхемах — динамическая память ....

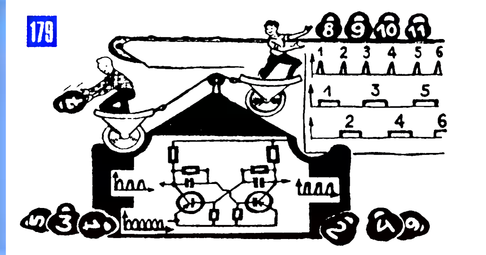
внешняя память на магнитной ленте — память на магнитных дисках — дискеты — компактный магнитный диск в вакуумной камере (винчестер) — оптические диски ....

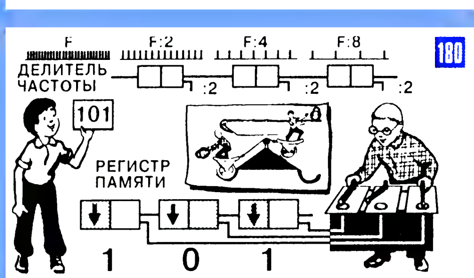
программирование в машинных кодах — ассемблеры (языки, упрощающие программирование в кодах) — языки программирования — языки высокого уровня — операционные системы — диалоговый режим ....

сплавные транзисторы — планарная технология — полевые транзисторы — пятимикронные элементы микросхем — трехмикронные элементы — микронные элементы — нанотехнология ....

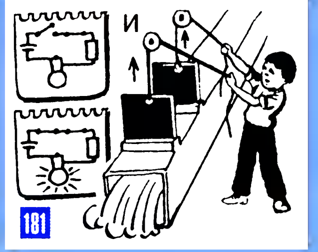
Потоки эти непрерывно соприкасаются и пересекаются, всякий раз удивляя мир новыми творениями вычислительной техники. Много лет это были только большие и средние машины — компьютер даже пси-

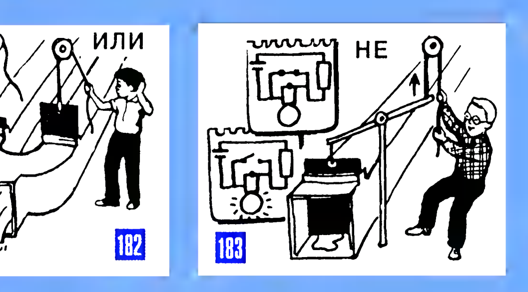

178

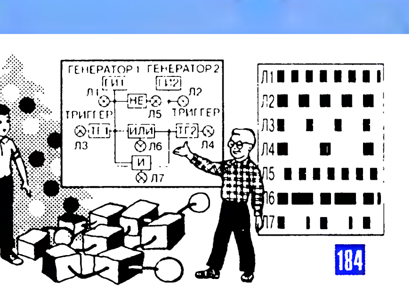

179
8 9 10 11
1 2 3 4 5 6
1 3 5
2 4 6

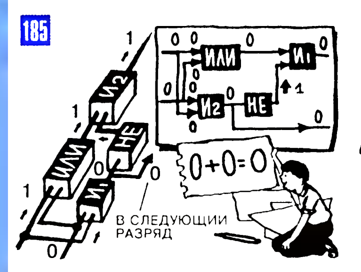

F
F:2
F:4
F:8
ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ
:2
:2
:2
180
101
РЕГИСТР ПАМЯТИ
1 0 1

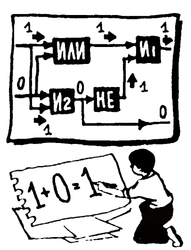


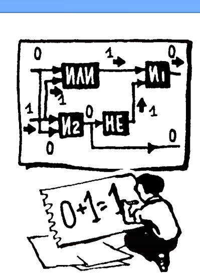

И
181

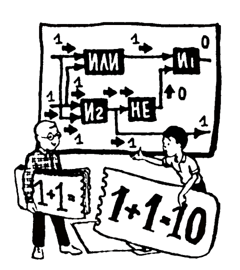

ИЛИ
182
НЕ
183


ГЕНЕРАТОР 1 ГЕНЕРАТОР 2
Л1
НЕ
Л2
ТРИГГЕР
Л5
ТРИГГЕР
ИЛИ
Л3
Л6
Л4
И
Л7
Л1
Л2
Л3
Л4
Л5
Л6
Л7
184


185
ИЛИ
И1
И2
НЕ
0+0=0
В СЛЕДУЮЩИЙ РАЗРЯД


ИЛИ
И1
И2
НЕ
1+0=1


ИЛИ
И1
И2
НЕ
0+1=1


ИЛИ
И1
И2
НЕ
1+1=
1+1=10

хологически воспринимался как дорогое сложное сооружение, доступное лишь могучей и богатой организации. Характерное высказывание специалиста: «Профессионалам даже трудно представить себе, что развитие компьютерной техники со временем обеспечит предоставление вычислительной мощности индивидуальным владельцам».

Вместе с тем, уже в шестидесятые годы именно в этом направлении начала прорастать одна из компьютерных ветвей, на которой вскоре уже стали видны ростки «персоналок». Гиганты микроэлектроники — фирмы Intel, IBM, Motorolla создают несколько типов микропроцессоров и микросхемы с большими объемами памяти; компактным и удобным становятся устройства записи на магнитных дисках и дискетах; все большую популярность завоевывает дисплей с кинескопом, сначала черно-белым, а затем и с цветным (за два года до появления ПК дисплеи для компьютера выпускали около 90 фирм, годовой выпуск составлял 2 миллиона мониторов). Все больше фирм пытается разрабатывать небольшие и недорогие ЭВМ, появляются такие непривычные понятия, как миникомпьютер и даже микрокомпьютер. В числе первых появляются неслыханно дешевые американские миникомпьютеры PDP-8 и 2116A стоимостью 20 тысяч долларов, а также быстро прогрессирующее семейство машин Nova стоимостью от 8 тысяч долларов. В 1975 году на основе микропроцессора Intel-8008 создается простейший компьютер «Альтаир» (клавиатуры и монитора нет), его цена — 500 долларов. Для микрокомпьютеров разрабатываются несложные программы, в том числе для разнообразных деловых применений — для работы с таблицами, анализа результатов эксперимента, финансовых расчетов.

Все это вместе, видимо, и следует считать началом эпохи персональных компьютеров.

Компьютер, созданный в гараже, дал начало всемирно известной фирме Apple (произносится «эппл», в переводе — яблоко), которая недолго выпускала персональный компьютер «Эппл-I», а затем в течение нескольких лет «Эппл-II». И по внешнему виду, и по оснащению (клавиатура, цветной монитор, дисковод для пятидюймовых дискет, дружественное программирование, элементы диалогового режима) компьютеры «Эппл» больше других своих современников походили на нынешний ПК. Возможности этих машин с их восьмиразрядным процессором и небольшим ОЗУ сегодня кажутся крайне ограниченными, но для своего времени, во всяком случае в момент появления, это были вполне совершенные и очень популярные модели. Особенно на фоне еще более простых (чтобы не сказать — примитивных) и чрезвычайно дешевых микрокомпьютеров, где роль внешней магнитной памяти выполнял обычный магнитофон, а роль монитора — телевизор. Под натиском значительно более привлекательных и быстро прогрессирующих конкурентов «Эппл» через несколько лет сошел со сцены, а фирма начала новую серию компьютеров — «Макинтош». В числе современных представителей этого знаменитого семейства мощные машины, которые часто можно увидеть в системах электронной полиграфии. Особенно там, где обрабатываются многокрасочные изображения.

У персональных компьютеров началась новая жизнь, когда в конце семидесятых ими всерьез занялся такой гигант, как фирма IBM (произносится «ай-би-эм», аббревиатура слов International Busines Mashin), какое-то время не считавшая, видимо, малые машины серьезным делом. Прямолинейно назвав свою первую модель IBM PC — от слов Personal Compoter, фирма сразу же приняла ряд выигрышных стратегических решений. В их числе такие: IBM PC — машина с открытой архитектурой, любой профессионал может участвовать в ее совершенствовании, разработке новых узлов, деталей, программ; фирма не препятствует и даже помогает производителям, желающим серийно выпускатть айбиэмовские персоналки. И вот вам результат: модификации IBM PC во всем мире стали самым массовым типом ЭВМ, ежегодно их выпускают десятки миллионов, и сейчас более 90 процентов всех персональных компьютеров — это модели, выросшие из IBM PC.

Кое-где еще наверняка работают первые модели семейства — IBM PC (начало серийного производства — 1976 г.), IBM PC XT (1983 г.; первая машина с винчестером) и IBM PC AT (1985 г.), но они уже принадлежат истории. Последующие модели коротко называют 286 (это практически то же самое, что IBM PC AT), 386 (1985 г.), 486 (1990 г.) и Пентиум (Pentium, 1993 г.), эти названия перешли из обозначений процессоров Intel, применяемых в соответствующих моделях. Для всего семейства почти всегда сохраняется совместимость «снизу — вверх»: программа, написанная для 286-й модели, будет работать на 386-й и всех последующих.

Чем же отличаются новые модели персональных компьютеров IBM? Насколько

каждая последующая модель совершеннее предыдущей? И в чем именно? Все отличия удобно разбить на две группы: на те, что связаны с общим прогрессом в электронике, и на те, что относятся к прогрессу именно в сфере персональных компьютеров IBM. К числу первых нужно отнести все, что связано с успехами технологии и повышением предельной рабочей частоты транзисторов в микросхемах. Это позволило повышать частоту тактового генератора (Т-272), а значит, повышать быстродействие компьютера — число операций в секунду. Чем позже создавалась модель ПК, тем более быстрые микросхемы к тому времени выпускались, и в итоге тактовая частота у разных моделей чаще всего встречается такая: 286 — от 8 до 16 мегагерц, 386 — от 20 до 40 мегагерц, 486 — от 40 до 100 мегагерц, Пентиум — 150 мегагерц и сейчас уже (некоторые модели на процессоре Пентиум-3) до 1000 мегагерц, то есть до гигагерца (1 ГГц).

Постепенный переход от элементов микросхемы размером в 5 микрон к технологии одномикронных элементов (а затем и к деталям в десятые доли микрона) сильно облегчил создание микросхем памяти с очень большой емкостью. Вместе с переходом на новые процессоры это позволило пройти путь от ОЗУ емкостью 512 килобайт в машине IBM PC (для своего времени это было огромным достижением, другие микрокомпьютеры имели в 10 раз меньшую оперативную память) до 16 и даже более мегабайт в 386-й и последующих моделях. Совершенствование записи на жестких магнитных дисках (винчестер) позволило от модели к модели увеличивать объем дисковой памяти. Если для 286 модели очень большой считалась дисковая память в 40 мегабайт, то для нынешних персональных компьютеров диск емкостью 10 и даже 20 гигабайт не считается черезмерным.

Благодаря открытой архитектуре в компьютер легко (с помощью системы разъемов) вводятся новые блоки или заменяются старые. Можно заказать или подобрать из готовых машину нужной конфигурации — с нужным набором основных узлв и, следовательно, с желательными характеристиками.

Уже в 386-м компьютере совершен переход от 16-разрядного «слова» к 32-разрядному, то есть вдвое увеличилась порция информации, с которой процессор оперирует за один такт. И адрес стал подлиннее — 24-битный вместо 16-битного. Это увеличило предельную емкость ОЗУ с 640 килобайт до 4 мегабайт, а большая оперативная память очень нужна для ряда задач, особенно связанных с графикой (Т-311;99). Реальное быстродействие компьютеров повышает встроенная сверхоперативная или, как ее называют, кэш-память (*cash*; одно из значений этого слова — наличные деньги, те, что находятся в кармане, а не в банке). С ней процессор связан напрямую, общается значительно быстрее, чем с ОЗУ, и помещает в кэш наиболее часто употребляемые данные и куски программы. Еще один вклад в быстродействие: начиная с 486-й модели действует конвейерная система: процессор не простаивает, не ждет, пока ему, например, добывают данные из ОЗУ, а, закончив очередную операцию, сразу начинает готовить следующую.

Пользователь, которому старые машины, случалось, преподносили неприятный сюрприз, оценит и появившийся уже в 386-м компьютере и усиленный в последующих так называемый защищенный режим: процессору запрещено лазить в «чужую» память, он может обращаться только туда, где находятся программу и данные той задачи, которую процессор решает в данный момент. Раньше такого запрета не было, и ошибка оператора или рядовой сбой могли привести к непредсказуемым последствиям.

Для каждой последующей модели семейства IBM PC можно насчитать десятки больших и малых нововведений. Пользователь ощущает их в виде довольно простого, но очень приятного итога — каждая последующая модель IBM — совместимого компьютера работает в несколько раз быстрее предыдущей, создает дополнительные удобства, оберегает от трагических случайностей. Нередко тот, кто работает на машине, этими сведениями ограничивается и не хочет вникать в технические подробности. Это вполне объяснимо: пользователю вполне хватает забот с освоением процедур общения и, так сказать, поведенческих особенностей компьютера. И все же о некоторых чертах компьютера, как машины, полезно знать всем, кто с ним работает, а может быть, даже и людям, далеким от вычислительной техники. И не только потому, что в компьютере можно увидеть немало не просто красивых, но еще и поучительных технических решений, заставляющих проводить интересные аналогии и задумываться о том, что имеет не узко компьютерное, а общее, а иногда и общечеловеческое значение.

Взять, к примеру, стыковку многочисленных блоков компьютера и согласованность между их взаимосвязанными действиями.

В современном компьютере десятки миллионов деталей, если считать транзисторы в микросхемах. Небольшие группы деталей взаимодействуют в местной схеме (триггер), несколько таких схем объединяются в более крупную (регистр) и так до формирования системы «компьютер», все составляющие которой благодаря четкому взаимодействию совместно выполнят множество сложнейших операций.

Еще один компьютерный феномен: великолепно продуманная многоэтажность процедур. Нажатие какой-либо клавиши или первичный код программы, считанный с диска, завершается определенными переключениями в электрических схемах машины, но процесс этот многоступенчатый: от указаний, понятных человеку («ввести букву а») он в несколько шагов приходит к конкретным действиям (например, к запиранию каких-то транзисторов тактовым импульсом). При этом каждый последующий шаг совершенно не интересуется (Т-8), как был сделан предыдущий. Важно лишь, чтобы результат этого предыдущего шага был таким, как это нужно для последующего — «делай, как хочешь, но сделай, как договаривались». Такой подход открывает огромные возможности совершенствования системы — любой ее узел, любой элемент в цепочке операций можно как угодно менять и улучшать, лишь бы в точности сохранилось то, что должно быть на входе и на выходе. Эта удивительная гибкость — одно из важнейших достоинств самой идеалогии создания столь сложных систем, как современный компьютер.

115. Похудевший силовик (высокочастотное питание). Тот, кто без особого энтузиазма посматривал на так называемые теоретические разделы нашей книги (Т-5), имея интерес лишь к практическим схемам, сейчас сможет еще раз убедиться в правильности уже приводившейся формулы: нет ничего практичней хорошей теории. Можно несколько видоизменить ее: в электронике любая практически важная и полезная новинка, как правило, начинается с глубокого понимания существа дела.

Подобно тому, как спортсмены соревнуются в беге, плавании или прыжках, конструкторы музыкальных центров или телевизоров соревнуются в том, чтобы улучшить их параметры: сделать звук более естественным, картинку — более четкой, аппарат — более экономичным и легким. Что касается веса, то одной из наиболее неприятных деталей всегда был силовик — силовой трансформатор (Т-281), тот, что из сетевого напряжения 220 вольт делал более низкие напряжения (а иногда и более высокие) для питания электронных схем. Его железный сердечник должен быть тем больше, чем большую мощность должен обеспечить трансформатор (Т-282). В радиолах или телевизорах, потребляющих от сети 100—200 ватт, на силовик приходится килограмм, а то и два кило общей массы. И главное, что ничего с этим не поделаешь — законы электротехники не обойдешь.

Однако, если вдуматься в суть дела, то, обнаружится интересная возможность — чтобы уменьшить сам сердечник и число витков в обмотке (соотношение между числом витков разных обмоток, то есть коэфициенты трансформации, конечно не меняются), можно увеличить скорость изменения первичного тока (Т-59, Т-60, Т-61).

Есть довольно простой способ увеличить скорость изменения тока — нужно повысить частоту. И вот вам практический результат из этих размышлений общего характера: к силовому трансформатору подводится не сетевое переменное напряжение с частотой 50 герц, а напряжение с частотой 5—10 тысяч герц. Благодаря столь высокой частоте токи в силовике меняются чрезвычайно быстро, и он эффективно перекачивает мощность из одной обмотки в другую, даже при очень небольшом сердечнике. При этом, также, становится намного проще фильтр выпрямителя.

Один вопрос пока остался без ответа: где взять питающее напряжение высокой частоты? В транзисторную эпоху сделать это, оказывается, не очень сложно: высокочастотное напряжение нужной мощности дает несложный транзисторный генератор, получающий питание прямо от электрической сети. Результат таков: вместо большого и тяжелого силовика практически во всей современной бытовой аппаратуре работает маленький легкий силовой трансформаторчик.

116. Чистота залог долголетия (технологическая среда). Любая технология реализуется в определенной среде — в вакууме, в воде (промывки), разного рода эмульсиях и химических растворах и, наконец, просто в воздухе рабочих помещений. Человек со стороны, как правило, не задумывается о том, что состав этого воздуха и его чистота есть важнейшие технологические параметры. От них, в частности, зависит надежность, долголетие и сам выход микросхем — количество приборов, которые после окончания всего технологического цикла и тщательной проверки оказывают-

ся годными. В полупроводниковом производстве чистота воздуха должна соответствовать строгим количественным нормам. Например, в помещениях, где идет сборка больших интегральных схем, в кубическом метре воздуха должно быть не более 35, а в некоторых случаях не более 3 пылинок размером 0,1—0,3 микрона. Более крупные пылинки в воздухе вообще недопустимы.

Есть, разумеется, приборы, которые точно определяют характеристику технологической среды, в том числе количество пылинок в воздухе и их размеры. И есть немало физических, химических, санитарных методов, позволяющих формировать и поддерживать необходимое состояние технологической среды. А без этого не видеть бы нам ни микросхем, ни транзисторов.

117. Роботу нужны только детали и точные указания (автоматизация монтажа). Радиолюбитель, если ему нужно заменить микросхему или установить новую, выполняет эту операцию очень старательно и небыстро — не так-то просто пропаять или освободить от припоя десяток, а то и десятки выводов микросхемы, не перегрев их паяльником и не погубив тем самым нежную полупроводниковую структуру (К-5;4).

Для промышленности, выпускающей электронные блоки миллионными тиражами, такая кустарная технология неприемлема. На современных предприятиях трудное дело монтажа печатных плат практически целиком отдано роботам. Для начала они быстро пробивают в печатной плате отверстия, куда потом попадут выводы всех деталей. Затем плата постепенно проходит по рабочим местам нескольких роботов-монтажников или, наоборот, плата неподвижна и к ней поочередно одна за другой подходят ловкие руки многорукого робота (Т-8). Каждая из них снабжена обоймой деталей определенного типа. Быстро двигаясь над платой, рука по указанию управляющего компьютера останавливается в нужной точке, опускается и точно ставит деталь на место. Настолько точно, что все выводы (даже если это микросхема с ее десятками выводов) попадают прямо в предназначенные для них отверстия. Возможен и такой вариант: монтаж ведет однорукий робот (Т-8) и, поставив на место деталь одного типа, он последовательно берет из кассет и ставит на места все другие детали.

Роботам также поручают и пропаять все поставленные на места детали. Для этого используется давняя технология горячей волны: плату располагают над ванной с расплавленным припоем и на его поверхности создают невысокую одиночную волну. Припойная волна движется под платой таким образом, что касается лишь выступающих выводов и, оставив на них капли припоя, соединяет выводы деталей с токопроводящими линиями самой платы.

Сегодня набор технологий автоматической сборки электронных плат, в том числе больших, с большим числом разных деталей — это серьезная наука. И дает она превосходные практические результаты в массовом производстве только благодаря глубокому изучению всех технологических тонкостей и созданию надежных роботов-автоматов высшей квалификации.

118. Волны бегущие, стоячие и никакие. Во многих популярных книгах используется очень эффектный прием: сильное изменение масштабов. При этом, например, школьники, путешествующие по нашему миру, вдруг уменьшаются в размерах настолько, что берут в руки отдельные электроны. Или увеличиваются до того, что кладут на ладонь и рассматривают целые планеты. Мы сейчас тоже попробуем воспользоваться изменением масштабов, но не пространственных, а масштабов времени.

Представьте себе, что все процессы в природе замедлились в миллион раз, и вы стоите недалеко от антенны передатчика, который до того излучал длинные радиоволны, работал на частоте 100 килогерц. Теперь, после замедления всех процессов в 1 000 000 раз, эта частота стала 0,1 герца, то есть цикл колебаний тока в антенне (период) длится 10 секунд (Т-95, Т-202). Соответственно, скорость света, то есть скорость распространения радиоволны составит 300 метров в секунду (вместо 300 000 километров; Т-202). Еще один шаг воображения — и вы держите в руках стрелочный прибор, измеряющий напряженность электромагнитного поля. Нулевое деление у этого прибора — в середине шкалы. Справа от нуля отмеряется напряженность поля одного какого-то направления (условно — положительного), слева от нуля — противоположного направления (отрицательного).

Что же покажет этот прибор, когда передатчик заработает?

Вы увидите, как стрелка периодически, довольно медленно, отклоняется то влево, то вправо, проходя все возможные значения за 10 секунд. То есть прибор регистрирует периодические изменения электромагнитного поля, колебания его напряженности, а они как раз и происходят с частотой 0,1 герца, то есть с периодом 10 секунд.

Попробуйте немного пофантазировать и представьте себе, что вы очень быстро движетесь вдоль электромагнитной волны, сильно обгоняете ее. Окажется, что электромагнитное поле меняется не только во времени, но и в пространстве: продолжая непрерывно изменяться в каждой точке, они в то же время быстро смещаются, уходят от антенны, напоминая бегущие гребни морских волн. Такие электромагнитные волны как раз и называются бегущими, они разносят энергию, полученную в антенне, во все стороны (или в одну сторону, если антенна направленная; Т-311;47). Добравшись до приемной антенны, бегущая радиоволна наводит в ней переменный ток «своей» частоты: в нашем фантастическом примере в приемной антенне наведется переменный ток с частотой 0,1 герца.

А теперь другая картина: мы посттавили на пути электромагнитных волн металлический лист, который отражает их обратно, к передатчику. Ситуация усложнится — помимо бегущей волны появится еще и отраженная, она тоже бежит, но в обратную сторону, к передатчику. От того, как эти волны взаимодействуют, зависят показания нашего измерительного прибора. Один из вариантов: падающая волна (та, что идет от передающей антенны) и отраженная равны по силе и в какой-то момент они встречаются, оказавшись сдвинутыми по фазе на 180° — на полпериода. Это значит, что, если в какой-либо точке в этот трагический момент у падающей волны положительная амплитуда, то в данной точке в данный момент у отраженной волны отрицательная амплитуда. Сложившись, наши волны полностью скомпенсируют друг друга, и в выбранной нами точке в выбранный момент времени напряженность будет равна нулю.

Если внимательно рассмотреть реальный процесс суммирования падающей и отраженной волн, то окажется, что для некоторых точек пространства дополнение «в выбранный момент времени» совершенно не нужно: есть такие точки, где поле всегда нулевое. При интерференции (сложении) двух бегущих друг другу навстречу волн образуется стоячая волна: электромагнитное поле во времени меняется, но никуда не движется — стоит на месте. В каких-то точках оно меняется от нуля до самой большой своей величины — до положительной и до отрицательной амплитуды. Эти точки называются пучностями. В других точках суммарное поле меняется точно так же, синхронно, но до амплитудных значений не доходит — чем дальше от пучности, тем меньше будет напряженность поля. Наконец, в каких-то точках обе волны складываются так, что поле всегда нулевое — это узлы стоячей волны. Итак, получившаяся суммарная волна непрерывно пульсирует, но никуда не перемещается, стоит на месте. Поэтому и называется стоячей.

Наконец еще один интересный вариант интерференции: складываются две совершенно одинаковые волны, бегущие в одну сторону и сдвинутые по фазе на 180 градусов. Результат сложения совсем уже трагический: на всей территории, куда приходят волны, они просто уничтожают друг друга (говоря более культурно — взаимно компенсируют) и никакого электромагнитного поля там нет. Над этим стоит задуматься. Работают два мощных передатчика, тратят энергию, излучают радиоволны. Если работает каждый в отдельности, то радиоволны уходят от передающей антенны, так сказать, в обычном порядке, и любой приемник эти радиоволны может обнаружить. А если оба передатчика заработают одновременно и если, как мы договорились, они излучают радиоволны строго одной частоты, одинаковой силы и всегда противофазные, то в этом случае никаким приемником излучение передатчиков не поймаешь — его просто нет. Это мы можем все объяснить, поскольку нам известно, что волны излучаются со сдвигом фаз 180°. А человек с радиоприемником ничего не знает и, включив приемник, он очень удивится — передатчики работают, а ничего не слышно. А потом, если даже объясняешь все противофазностью волн, то все равно начинаешь сомневаться и философствовать: есть ли на самом деле по отдельности каждая из противофазных волн? А если есть, то в каком виде? И не действуют ли какие-то неизвестные нам противофазные силы в пространстве, где по-нашему ничего нет? Действительно, есть над чем задуматься.

Это, кстати, и в жизни бывает — два человека или даже какие-то две группы тратят силы, пытаются что-то совместно сделать, но сделать ничего не могут, поскольку только мешают друг другу, работают в противофазе.

И об этом тоже подумать неплохо.

119. Пропуск в компьютерную сеть (модем). Персональные компьютеры нередко включаются в большую сеть через ту же телефонную линию, в которую включен обычный телефон. Далее эта линия выходит на телефонную станцию и оттуда в конечном итоге попадает на магистраль, ко-

торая ведет к ближайшему узлу большой компьютерной сети. Ну а там уже свое дело начинают делать серверы, маршрутизаторы и специальные линии связи (Т-311;93). Чтобы попасть на ближайший узел компьютерной сети, ее абоненту (владельцу персональной ЭВМ) нужно просто набрать соответствующий телефонный номер, и коммутаторы телефонных узлов произведут нужное соединение точно так же, как они соединяют вас с любым телефонным аппаратом.

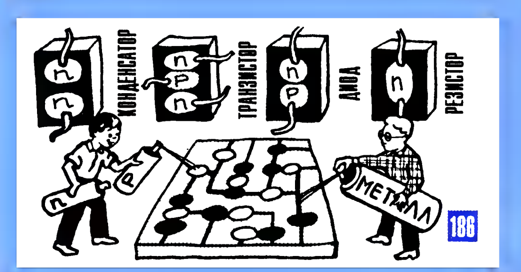
Подключение компьютера к большой сети через телефонную линию очень удобно — специальные линии для связи компьютеров и передачи данных не пришли еще в наши дома, даже далеко не каждая крупная организация их имеет. Но телефонные линии не рассчитаны на передачу импульсных сигналов, которые выдает компьютер (Т-272, Т-276). Телефонная линия рассчитана на низкочастотные сигналы, на электрическую копию звука и обычно пропускает полосу частот до 10 или даже до 3 килогерц. Чтобы передать по такой линии комбинации импульсов и пауз (1 и 0), компьютер подключается к ней через модулятор-демодулятор, сокращенно — модем. При передаче информации от компьютера в сеть модем делает примерно то же самое, что и обычный радиопередатчик (Т-205) — внутренний генератор модема модулируется компьютерными сигналами. При приеме информации работает приемный блок модема: он детектирует (демодулирует) модулированный сигнал, поступивший от другого модема-передатчика с другого конца телефонной линии. В модемах часто используют частотную модуляцию: 1 и 0 передаются двумя разными частотами. Возможна также амплитудная и фазовая модуляция, а иногда одновременно все три вида модуляции, это позволяет передавать сразу три бита вместо одного. В целом же из-за сравнительно узкой полосы пропускания телефонной линии, модем вынужден посылать в нее информацию значительно медленнее, чем она могла бы поступать из компьютера. Поэтому информация сначала попадает в память, а оттуда не торопясь уходит в линию.

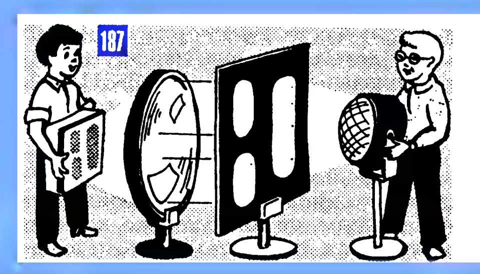
Хороший модем может работать с разной скоростью в зависимости от того, какая ему досталась телефонная линия. Стандартом для модемов предусмотрены такие скорости передачи данных: 300, 600, 1200, 2400, 9600, 14400, 16800, 19200, 28800 и 56000 бит в секунду (Т-95). В хорошем модеме есть электронный блок, позволяющий оценить качество линии (как в телефаксе; Т-311; 23), и с учетом этого автоматически выбрать скорость передачи. Одновремено модем согласует свои действия с модемом на другом конце линии — они работают на одной частоте. Уже из этого видно, что модем это не только модулятор-демодулятор, но и много других электронных блоков. Он может (и даже должен), по указанию с компьютера или покопавшись в собственной памяти, набрать телефонный номер, который выведет его в нужную большую сеть. Модем умеет разными способами сжимать информацию, выявлять ошибки, при необходимости снижать скорость передачи, отличать вызов из компьютерной сети от обычного телефонного звонка, переключить линию с компьютера на телефонный аппарат, выполнять много разных команд, поступающих с компьютера, и работать по довольно большому набору протоколов. Даже самый простой модем — довольно сложная машина; дорогие модемы по многообразию функций, сложности схемы и числу чипов далеко обошли наиболее совершенные телефонные аппараты, наполненные электроникой. Во всяком случае хороший модем умеет принять и послать факс, в том числе взяв его из памяти машины, умеет и автоответчиком поработать, записывая принятую информацию на диск компьютера.

Иногда модем выполнен в виде отдельного блока, а иногда в виде вставленной в компьютер дополнительной платы.

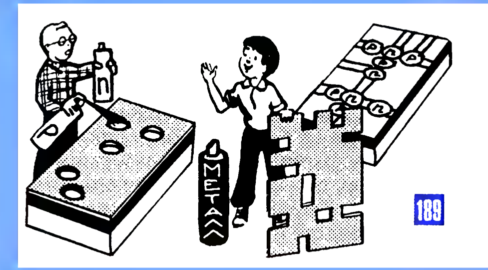
120. Надежность как точная характеристика. Пользователь может в любой свободной форме рассуждать о надежности электронных аппаратов. Например, так: «Купил магнитофон знаменитой фирмы А. И что же вы думаете? Через две недели он у меня перестал работать. Ненадежная продукция». Или так: «У меня старый телевизор Р. Работает уже 10 лет и ни разу мастера не вызывал. Очень надежная техника». Профессионал не может удовлетвориться оценками подобного рода, он должен каким-то образом точно оценить надежность, и для этого принято несколько разных характеристик. Они говорят про четыре главных слагаемых надежности: безотказность аппаратуры или отдельных деталей, их долговечность, сохраняемость и ремонтоспособность.

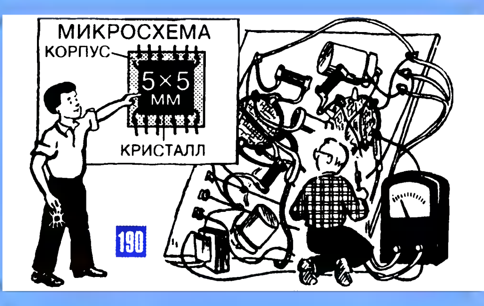
Из нескольких характеристик безотказности еще не так давно чаще других встречалась наработка на отказ. Это полученное в результате большого числа испытаний и проверок среднее время безотказной работы аппарата, например, между дву-


КОНДЕНСАТОР
ТРАНЗИСТОР
ДИОД
РЕЗИСТОР
МЕТАЛЛ
186

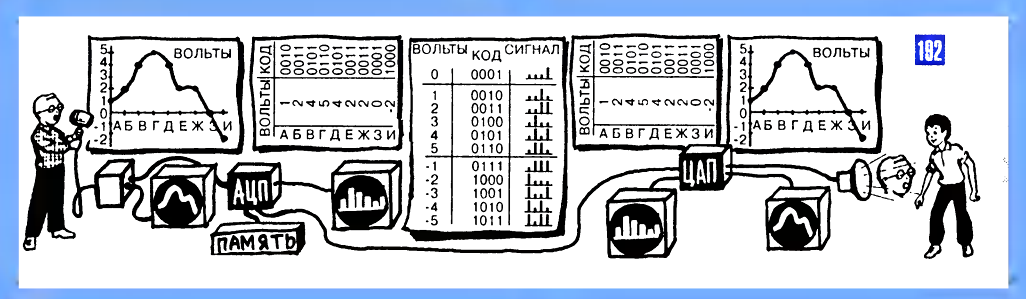

187


188
ТРАВЛЕНИЕ


МЕТАЛЛ
189


МИКРОСХЕМА
КОРПУС
5×5 ММ
КРИСТАЛЛ
190


191
5 млн.транзисторов
МИКРОПРОЦЕССОР PENTIUM PRO
МИКРОПРОЦЕССОР 4004
2.5 тыс.транзисторов


ВОЛЬТЫ
АБВГДЕЖЗИ
ВОЛЬТЫ КОД
ВОЛЬТЫ КОД СИГНАЛ
0 0001
1 0010
2 0011
3 0100
4 0101
5 0110
-1 0111
-2 1000
-3 1001
-4 1010
-5 1011
АЦП
ПАМЯТЬ
ЦАП
192

мя ремонтами. Для телевизоров ламповой эпохи наработка на отказ обычно составляла 1—2 тысячи часов, для современных телевизоров она где-то в районе 5—10 тысяч часов. Очень важна и такая характеристика, как вероятность безотказной работы, например, вероятность отказа в течение часа (во всех случаях это, конечно, очень маленькая величина). Примечательно, что показатель этот меняется во времени; причем в начале эксплуатации он сравнительно большой. Это значит, что если в аппарате есть слабое место (например, из-за дефектов сборки, плохой пайки или нарушений в структуре полупроводникового материала), то это, скорее всего, обнаружится в самом начале, возможно, даже в первые часы работы. Затем следует длительный период с малой вероятностью отказов и, наконец, по истечении этого длительного времени счастливой жизни (Т-8) начинает чувствоваться старость — какие-то узлы и детали, исчерпав свой ресурс, выходят из строя, вероятность отказов растет.

Случается, что производитель электронной техники, добившись заметных успехов, приводит какие-то характеристики надежности вместе с главными характеристиками своей аппаратуры. Так, например, из проспектов некоторых матричных принтеров можно узнать, что их подвижная деталь — печатающая иголочка (Т-277, Р-166), как правило, может более 25 миллионов раз ударить по красящей ленте. Эта удивительная цифра характеризует не только конкретный принтер, она заставляет вспомнить о том, какого высокого уровня надежности достигла нынешняя техника, в том числе и электроника в целом.

121. Системы автоматического проектирования (САПР). Долгий и сложный путь лежит от идей и первых набросков до начала серийного выпуска современной техники — самолетов, телевизоров, микросхем. Даже самые передовые фирмы еще недавно затрачивали 6—8 лет, чтобы разработать новую модель автомобиля и запустить ее в производство. Сегодня это делается 2—3 года, и столь огромный выигрыш получают в основном благодаря использованию вычислительной техники. Все начинается с системы автоматического проектировани — сокращенно САПР (по-английски — CAD, Computer Added Disigne). Ее специальные программы позволяют конструктору чертить деталь на экране компьютера, сравнительно легко видоизменяя ее и используя извлеченные из архива типовые элементы. Все достойные варианты чертежа можно отправить в память компьютера, с тем чтобы потом их сравнить и выбрать лучший вариант. Из трех проекций (вид сверху, спереди, сбоку) программа может сформировать и показать на экране объемное изображение детали, при этом ее можно поворачивать и рассматривать с разных сторон. Программа выскажет свое мнение о всех вариантах детали, сопоставит их точные характеристики, такие, например, как массу, трудоемкость, технологичность. Более того — существуют программы, позволяющие еще в компьютере оценить прочность деталей, условно прикладывая к ним разные нагрузки. По локальной сети конструктор может отправить свою деталь коллегам, технологам, экспертам, проверяющим патентную чистоту.

Еще до изготовления опытных образцов, работая с компьютерными чертежами, можно посмотреть, как из разработанных деталей сложится какой-либо сложный агрегат. Когда, наконец, все будет согласовано, можно с помощью плотера (Т-311;75) получить рабочие чертежи и отдать их в экспериментальный цех. Но нередко и здесь САПР вносит свои поправки: с компьютера чертежи (разумеется, в двоичном коде) можно передать прямо на станок с числовым программным управлением (ЧПУ) и он сам изготовит опытный образец детали. Используют и другие технологии, например, послойный синтез: по компьютерным командам специальная установка из полимерного раствора, слой за слоем, наращивает твердую пластмассовую деталь, которую конструктор сможет подержать в руках в качестве живого дополнения к компьютерным картинкам.

Компьютерные системы совершенно изменили не только процесс конструирования, но и разработку технологии, подготовку производства, особенно там, где широко используются роботы, свободно владеющие языком компьютерных программ. В процессе проектирования САПР освобождает конструктора от огромной чисто технической работы. Так, например, при разработке автомобильного крыла конструктор задает его основные очертания и закон, по которому должны изменяться объемные формы. Компьютер сам вычислит координаты всех точек плавно изгибающейся поверхности и по ним выдаст чертежи, необходимые для изготовления соответствующих штампов. Огромную работу берет на себя САПР в создании микросхем, например, предлагая и сравнивая воз-

можные варианты топологии — размещения в кристалле «деталей» интегральной схемы, то есть микроучастков с разными физическими свойствами. А затем другие программы точно называют технологические процедуры, которые создадут выбранную топологию. Работает САПР практически на всех стадиях создания электронных систем, аппаратов, приборов, начиная с формирования принципиальной схемы и до проверки теплового режима будущих изделий, от анализа уже работающих приборов при конструировании новых до шлифовки технологических процессов. Во многих областях электроники для САПР создано много программ разного уровня и мощнейшие базы данных. Без этого мы наверняка не имели бы нынешнего богатства и совершенства электронных систем и приборов.

122. Не только художник, но и скульптор (элионная технология). Среди многих технологических приемов, освоенных полупроводниковой электроникой, один занимает особое место. Это элионная технология, ее главные действующие лица — электронные и ионные пучки, что и отражено в названии: слово элионная образовано из двух — электронная и ионная. В элионной технологии главное достоинство пучков микрочастиц состоит в том, что они очень хорошо сфокусированы и попадают на кремниевую пластину в виде пятнышка диаметром в сотые доли микрона. Можно разместить несколько тысяч таких пятнышек на площади, которую сегодня занимает одна деталь интегральной схемы, коротко говоря, элионная технология могла бы каким-то образом формировать в интегральной схеме в сотни, а может быть и в тысячи раз больше деталей, чем фотолитография.

Что касается загадочного «каким-то образом», то элионная технология прекрасно освоила и классические, и новые, свои собственные методы. Электронный или ионный луч сканирует кремниевую пластину подобно тому, как это делает электронный луч в кинескопе. Но задача совсем иная: пучок электронов или ионов чаще напоминает работу скульптора, а не художника. Пучок частиц в той точке, куда он попал, меняет свойства кремния, например, снимает тончайший поверхностный слой, а ионный пучок добавляет слой нового вещества, оставив на поверхности немного своих ионов. Таким же образом вводится нужная примесь в микроскопическую область кремния. Кроме того, электронные или ионные пучки могут участвовать и в классической литографии, засвечивая в фоторезисте чрезвычайно тонкие и мелкие узоры, недоступные пока другим методам. Результаты рекордные, но технология очень непростая и недешевая. Только время покажет, станет ли она достоянием современного крупносерийного производства.

123. Несколько весьма полезных хобби электроники (электроника больших мощностей). Главная и, пожалуй, даже единственная профессия радиоэлектроники — сбор, переработка, передача и использование информации (Т-88, Т-106). Но свои достижения электроника попутно, так сказать, в качестве хобби, много раз передавала другим областям, не имеющим отношения к работе с информацией. Так, например, в металлообработке широко применяется открытый радиотехникой поверхностный эффект (иначе — скин-эффект, от английского *skin* — кожа). Он состоит в том, что переменное электромагнитное поле, созданное переменным током, вытесняет этот ток на поверхность проводника; чем выше частота переменного тока, тем по более тонкому поверхностному слою он идет. На машиностроительных заводах можно увидеть мощные высокочастотные генераторы для закалки будущей рабочей поверхности деталей. За счет скин-эффекта ток сильно нагревает только поверхностный слой детали и закаливает, упрочняет только его, а вся деталь остается сравнительно пластичной, а значит, не столь хрупкой.

Другое общеизвестное хобби электроники — мощные полупроводниковые приборы. Из мощных диодов, например, (уже не ватты, а киловатты) собирают выпрямители, которые прямо на месте питают постоянным током огромные двигатели электровоза. Благодаря этому в контактный провод посылают не постоянный ток, как раньше, а переменный, что заметно упрощает всю систему электропитания. Широко используют и силовые тиристоры (от греческого *тира* — дверь, управляемый полупроводниковый выпрямитель с двумя *pn*-переходами), с их помощью можно и без потерь энергии плавно менять свечение электрической лампочки или даже многоламповой люстры.

Для киловаттной электроники (даже мегаваттной) и в будущем найдется немало важных дел. Одно из них — передача энергии со спутниковых электростанций на Землю. Для этого нужно на самом спутнике с минимальными потерями преобразовать постоянный ток (именно его вырабатыва-

ют солнечные батареи; Т-311;51) в ток высокочастотный, его энергию с помощью остронаправленной антенны можно будет передать на Землю острым радиолучом. А на Земле электронике нужно будет произвести обратное преобразование — из высокочастотного получить удобный для использования ток, например, со стандартной частотой 50 герц.

124. Рекорды радиоэлектроники. В известной книге Гиннеса можно встретить отмеченные оценкой «самый, самая, самое» достижения в разных областях радиотехники и электроники. Так, в гиннесовской книге 1995 года отмечено, что самый активный радиолюбитель мира американец Ричард Спенсели со своей коротковолновой любительской радиостанции за 365 дней установил 48100 радиоконтактов с другими радиолюбителями. А профессор Ибрагим Каврак из Турции для своих исследований в гидродинамике изготовил самый маленький микрофон, его размеры 0,15 х 0,08 х 0,08 миллиметра. У самого маленького цветного телевизора фирмы «Касио» вес (с батареями) — 170 граммов, размеры 2х6х9 сантиметров, экран — 3,55 сантиметра по диагонали. Экран самого маленького черно-белого телевизора той же фирмы вообще вмонтирован в циферблат наручных часов. А фирма «Сони» построила самый большой цветной ТВ экран размером 25х46 метров. Самым быстрым компьютером общего назначения назван шестнадцатипроцессорный «Крэй-Y-MP-C90», он выполняет 16 миллиардов операций в секунду. Самый быстрый одиночный процессор работает при частоте тактовых импульсов 150 мегагерц, то есть производит 150 миллионов действий в секунду. Самый быстрый транзистор делает 30 миллиардов переключений в секунду, и этот рекорд держится с 1986 года. Самый маленький модем выпускается израильской фирмой RHD, его размеры 2х3х6 сантиметров. Страна с наибольшим числом радиовещательных станций — США, на 31 марта 1994 года их было зарегистрировано 11840 — примерно поровну с амплитудной и частотной модуляцией; 1674 станции ведут просветительские передачи.

В книге Гиннеса рекорды радиоэлектроники попали в раздел «Культура» и, может быть, поэтому в списке не оказалось многих потрясающих воображение достижений. Таких, скажем, как микросхема, где на маленькой кремниевой пластинке умещается несколько миллиардов запоминающих элементов (это несколько тысяч страниц машинописного текста). Жаль, что нет в списке линии космической радиосвязи протяженностью более 600 миллионов километров, по которой с американского спутника «Вояджер» на Землю были переданы прекрасные цветные фотографии Юпитера. Надо бы вспомнить и несколько пока еще не перекрытых российских рекордов, добытых аппаратами «Венера», которые несколько раз вели прямую телевизионную передачу с поверхности Венеры, при температуре около плюс 50 градусов и давлении более 500 атмосфер. Радиоэлектронике, как и другим областям техники и технологии пора, пожалуй, заводить свою книгу достижений, которые для многих людей не менее интересны, чем количество съеденных за один присест пирожных или крутых яиц.

125. На пути к всеобщей связи (режимы он лайн и оф лайн). В числе многих новых терминов, которые принесли с собой глобальные компьютерные сети, есть употребляемые особенно часто — это *on line* (произносится он лайн) и *of line* (оф лайн). Первый в буквальном переводе означает *на линии* и говорит о том, что вы работаете в режиме непосредственной связи со своим корреспондентом, то есть в данный момент, пусть через какие-то промежуточные коммутаторы, но соединены с ним непосредственно линией электросвязи. Термин *of line — вне линии* означает, что у вас нет прямой электрической связи со своим корреспондентом, что вы посылаете свою информацию на его адрес, но она к нему сразу не попадает, где-то ждет своей очереди, и потом, возможно, еще через несколько пунктов ожидания, придет к адресату с заметным опозданием. Режим *on line* подобен телефонному разговору, режим *of line* напоминает почтовую переписку.

То, в каком режиме вы работаете (*on line* или *of line*), зависит от нескольких факторов: от вашей потребности, разницы в оплате и, конечно, от возможностей самой системы соединения, прежде всего от наличия свободных каналов связи. Мы сейчас избалованы доступностью междугороднего телефона — набрал код плюс нужный номер и тут же соединился с далеким городом или заморской страной. А ведь еще не так давно на некоторых направлениях приходилось ждать часами телефонного разговора — желающих поговорить было намного больше, чем каналов связи.

Понятия *он лайн* и *оф лайн* используются весьма широко как в профессиональных языках, так и уже в житейском. Например,

работу с компьютером в диалоговом режиме или личное обсуждение какого-либо проекта с его рецензентом нередко называют взаимодействием он лайн.

126. В океане приборов, эффектов и великих имен. В конце прошлого века, когда электроника только начиналась, к ней можно было отнести всего несколько приборов и физических явлений, о них знал каждый специалист, работавший в этой области. А сейчас мало кому удается единым взором окинуть всю радиоэлектронику, понять, пусть даже в общих чертах, все ее методы, эффекты, технологии, приборы, возможности. Очень уж разрослось это дерево, специалист теперь лишь одни какие-то его ветви знает, а о других, бывает, даже не слышал. А уж про человека со стороны и говорить нечего: еще, к сожалению, не написана понятным языком книга, которая помогла бы ему хоть как-то закрасить в своей картине мира огромное белое пятно «Радиоэлектроника». В этом непростом деле многим, видимо, поможет энциклопедический словарь «Электроника», выпущенный в 1991 году всемирно известным издательством «Советская Энциклопедия». На 688 страницах здесь помещено 1800 статей и несколько тысяч прекрасных рисунков, затрагивается около 8 тысяч понятий и терминов. Мы сейчас тоже воспользуемся этим словарем, но с несколько необычной целью.

В словаре представлены используемые в электронике физические эффекты, в частности, такие: эффект Виллари (изменение намагниченности при деформации ферромагнитного вещества), эффект Ганна (в некоторых полупроводниках под действием постоянного напряжения возникает высокочастотный ток), эффект Джозефсона (протекание сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика или металла в обычном состоянии), эффект Доплера (Т-266; Т-311;18), эффект Холла (в магнитном поле у проводника с током появляется определенным образом направленное электрическое поле), эффект Зеемана (постоянное магнитное поле меняет квантовые состояния вещества), динатронный эффект (Т-311;56), эффект Поккельса (электрическое поле меняет преломление света в пьезоэлектрике), эффект Мейснера (из сверхпроводника полностью вытеснено магнитное поле), магниторезистивый эффект (магнитное поле меняет сопротивление твердого проводника), эффект Шоттки (внешнее электрическое поле облегчает выход электронов из эмиттера, в частности, из разогретого катода). Всего в книге поясняется около 50 различных эффектов, более 30 носят имена своих первооткрывателей. Немало собственных имен и в большом списке важнейших уравнений, используемых в электронике.

В конце словаря есть список наиболее часто используемых аббревиатур (сокращений), вот некоторые из них: АБМ — амплитудно-балансная модуляция, АВМ — аналоговая вычислительная машина, АВП — автоматический выбор пределов (измерений), АЗУ — ассоциативное запоминающее устройство, АИН — автономный инвертор направления, АЛС — анализатор логических состояний, АЛТ — атомно-лучевая трубка, АО — аппаратура обслуживания, АОН — автоматический определитель номера, АПД — аппаратура передачи данных, АРУЗ — автоматическая регулировка уровня записи, АСУТП — автоматическая система управления технологическим процессом, АЧХ — амплитудно-частотная характеристика, АФАР — активная фазированная антенная решетка, АРМ — автоматизированное рабочее место, АИГ — алюмоиттриевый гранат, АПП — ассоциативный параллельный процессор, АРЯ — автоматическая регулировка яркости. Всего в этом списке более 600 аббревиатур, очень жаль, что по техническим причинам здесь нельзя воспроизвести его полностью и пришлось ограничится только буквой «А».

«А зачем это вообще нужно? — хочет, видимо, спросить удивленный читатель. — Зачем весь этот поток перечислений без объяснений?» Ответ прост: автор не имеет пока возможности рисовать большое полотно и пытается несколькими легкими мазками хотя бы обозначить контуры гигантских научных территорий, где сегодня обитает радиоэлектроника. И при этом тешит себя надеждой, что у читателя появится хоть какое-то ощущение ее многообразия. И что еще удастся когда-нибудь вернуться к этой теме, рассказать о радиоэлектронике подробно и более упорядоченно.

127. Новые профессии старинного порошка (ферриты). Чтобы усилить магнитное поле, а вместе с ним электромагнитные процессы (например, наведение ЭДС в катушках трансформатора), в него, в магнитное поле, вводят сердечник из ферромагнитного материала — чаще всего из железа и его соединений (Т-52, Т-56). Но если сердечник силового трансформатора изготовить из цельного куска железа, то сердечник этот при включении трансформатора сам быстро нагреется, перегреет об-

мотки до едкого дыма и, скорее всего, выведет их из строя. А причина всех неприятностей — вихревые токи в сердечнике, их наводит меняющееся магнитное поле (так же, как в обмотке), и эти токи, не встречая почти никакого сопротивления, ведут себя, как в короткозамкнутом витке.

Спасение простое: сердечник собирают из отдельных пластин, изолированных одна от другой, токи, наведенные в пластинах своими магнитными полями, действуют друг против друга и общие потери энергии в сердечнике (а значит, его нагрев) резко снижаются (Т-87). А если принятых мер (пластины) недостаточно, как, например, в высокочастотном трансформаторе, сердечник делают из магнитодиэлектриков. Это железосодержащие порошки, спрессованные так, что каждую ферромагнитную крупинку обволакивает изолирующий наполнитель. Именно в этом виде — в виде порошков, из которых прессовали сердечники для катушек, полвека назад пришли в радиоэлектронику ферриты. Это целый класс окислов разных металлов (магния, алюминия, свинца и других), объединившихся с главным окислом — оксидом железа Fe_2O_3.

Много лет феррит так и оставался материалом для «железного сердечника» катушек или трансформаторов. Но вот в физических лабораториях многих стран, исследуя структуру и свойства ферритов, обнаруживают немало удивительных подробностей, и из добытых знаний рождаются совершенно новые материалы и новые приборы. Сегодня у ферритов немало профессий. Вот несколько примеров, которые могут дать представление об их многообразии.

Ферритовый постоянный магнит. Материал для него получается после спекания магнитотвердых порошков (с сильным остаточным магнитизмом; Т-47, Т-231), по многим свойствам напоминает керамику.

Ферритовый вентиль. Благодаря особенностям микроструктуры некоторые сильно намагниченные ферриты пропускают электромагнитную волну, но только в одну сторону; используется, например, для защиты СВЧ-усилителя или генератора от отраженных волн.

Ферритовый бесконтактный переключатель. В нем работают управляемые внешним магнитным полем ферритовые вентили; быстро переключает потоки СВЧ-излучения (например, от одной антенны к другой), в том числе очень мощные.

Ферритовый фильтр. Обычно небольшой шарик или цилиндр, в котором под действием СВЧ-излучения возникает резонанс, связанный с внутренней структурой самого феррита (ферромагнитный резонанс). За счет этого резонанса ферриты могут пропускать излучение (или наоборот — не пропускать) определенной частоты; резонансную частоту можно менять, изменяя внешнее подмагничивание фильтра.

Ферритовый ограничитель. Благодаря тонким процессам, связанным со структурой намагниченного феррита, он не пропускает СВЧ-излучение мощнее заданного порога; используется, в частности, для защиты входных цепей приемника.

В этот список надо бы добавить ферритовые элементы памяти, ферритовые излучатели и приемники ультразвука, ферритовые модуляторы света, ферритовые логические элементы, оптически прозрачные ферриты, ферриты с полупроводниковыми свойствами, ферриты с цилиндрическими магнитными доменами (ЦМД — легко перемещаемая внутри самого феррита микроскопическая магнитная область — элемент памяти) и многое другое.

Но понадобилась бы, пожалуй, отдельная толстая книга для того, чтобы подробно рассказать о профессиях ферритов и о сложных (в том числе квантовых) процессах в них. Поэтому ограничимся одним общим замечанием, которое относится практически ко всем новым применениям ферритов, как, впрочем, к большинству других материалов, используемых в электронике.

Это общее замечание включено в первую из пятерки важнейших особенностей современной радиоэлектроники, которым посвящен следующий (128-й) микрорассказ раздела Т-311 и в то же время — последний рассказ этого раздела.

128. Пять победных стрел атаки. Не претендуя, разумеется, на глубокий научный анализ, хотелось бы поделиться своими впечатлениями о радиоэлектронике наших дней. Это будут впечатления человека, который вошел в радиотехнику и электронику полвека назад и все годы, так сказать, не выходил из профессии, старался не отставать. Однако, как известно, уйти от прошлого невозможно и поэтому в моих впечатлениях и оценках невольно делается отсчет от того давнего времени, когда девятиламповый трехдиапазонный супергетеродин считался немыслимо сложным электронным аппаратом, голос с другого континента воспринимался, как чудо, магнитофон или телевизор большинству специалистов были знакомы только по учебни-

кам, а нередко всего лишь по газетным заметкам. Скорее всего именно из-за сопоставлений с прошлым в наших текстах появлялась неуместная для выбранного жанра восторженность, а в оценках и выводах, которые сейчас будут представлены читателю, особо выделено то, что нынешнему поколению профессионалов уже, возможно, представляется обыденным, привычным или даже не очень интересным.

Итак, несколько слов о пяти особо важных чертах нынешней радиоэлектроники, о пяти особо важных направлениях ее развития, которые видятся, как пять стрел атаки на неизвестное и невозможное.

1. Новые методы, технологии, приборы создаются на фундаменте глубокого понимания физических процессов, главным образом в мире атомов и молекул. Прекрасные иллюстрации — создание лазеров (Т-305), гетеропереходы (Т-311;77) и новые профессии ферритов (Т-311;127). Но, пожалуй, наиболее ярко роль физического фундамента электроники видна на примере осознанного создания транзисторов почти через четверть века после изготовления их действующих аналогов (Т-305). Поняв, как может работать транзистор, и сделав его (а затем и интегральную микросхему) доступным серийным прибором, фундаментальная наука совершила революцию не только в технике, но и в самой жизни человеческой цивилизации.

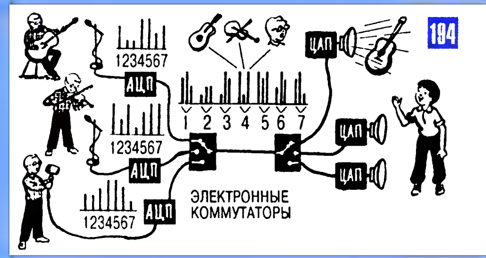
2. Электронные приборы и системы выполняют все более сложную работу с информацией, пытаясь приблизиться к человеку в интеллектуальной сфере и уверенно обгоняя его, когда дело касается точности, неутомимости, скорости, переработки больших объемов информации. Каждый из нас может составить огромный список своих личных электронных помощников: телефонный аппарат с памятью, калькулятор, противоугонное устройство и масса другой электроники в автомобиле, часы с календарем и секундомером сотовый телефон, телефакс, телевизор, компьютер, диктофон, магнитная карточка для телефона-автомата, кодовый замок... Кроме того, есть масса помощников, так сказать, коллективного пользования: система бронирования авиабилетов, кардиограф, электронные контролеры в метро, спутниковое ТВ, кассовые аппараты... Фантазируя, вы можете продолжить оба списка, но скорее всего реальность в считанные годы перекроет ваши старания.

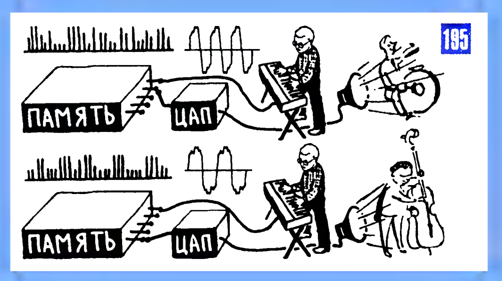
3. Электронные приборы помогают автоматизировать все больше разных операций и процессов, освобождая человека от утомительной рутинной работы в науке, на производстве, в быту. Компьютер чуть ли ни на равных играет в шахматы с чемпионом мира, пытается читать тексты, написанные разным почерком. Но до свободного и самостоятельного решения интеллектуальных задач компьютеру пока еще далековато. Может быть потому что еще далеко до понимания, как все это делает наш мозг. И все же дело не безнадежное, медленно, но все же продвигаются вперед могучие силы — физиологи, математики, системотехники, психологи, программисты.

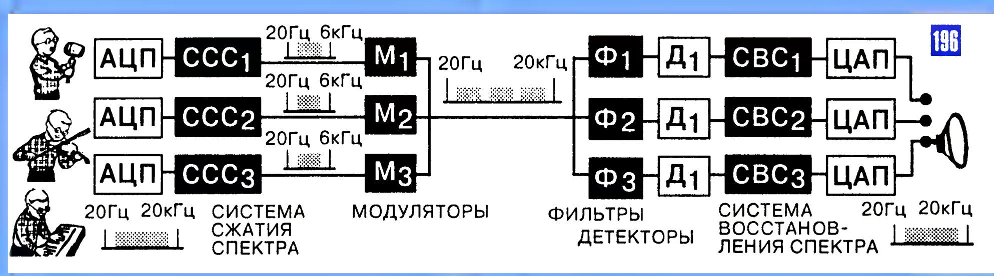
4. В электронных приборах и системах наметился повсеместный переход на цифровые методы, и это, как правило, открывает совершенно новые возможности обработки информации. В больших возможностях цифры может убедиться каждый — достаточно взять в руки пульт дистанционного управления телевизором или вслушаться в безукоризненное звучание цифровой записи на компакт-диске. А впереди работа гигантских масштабов — в мир цифровой электроники собирается войти телефон, с его миллиардами абонентов и триллионами километров линий связи. Да и телевидение уже одной ногой вступило на цифровую территорию и вряд ли удержится от того, чтобы не сделать дальнейшие шаги. Достоинства цифровых систем неизменны — помехоустойчивость, удобство запоминания и обработки сигнала. Не меняется и главный недостаток — нередко нужны более сложные и громоздкие схемы. Но недостаток этот давно уже никого не пугает — сложные и громоздкие схемы, как правило, выливаются в несколько типовых чипов.

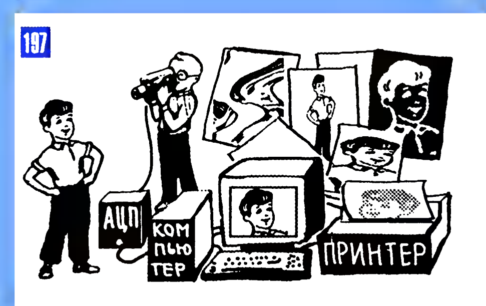
5. Оставив истории громоздкие схемы, собранные из отдельных деталей, электроника решительно переходит на микросхемы и быстро совершенствует их в надежде догнать (а, может быть, и обойти) молекулярные шедевры живой природы. Время хоть и бежит быстро, но там, где люди думают и работают, оно насыщено событиями и результатами. Реальная жизнь нередко опережает даже авантюрные прогнозы, и не раз на наших глазах смелая идея за 4—5 лет, а то и за 2—3 года становилась серийной промышленной продукцией. Достижения сегодняшнего дня: 95% большой схемы телевизора в трех чипах;


193
ПРИЕМНИК
РЕГЕНЕРАТОР


194
1234567
АЦП
1234567
АЦП
1234567
АЦП
1 2 3 4 5 6 7
ЦАП
ЦАП
ЦАП
ЭЛЕКТРОННЫЕ
КОММУТАТОРЫ

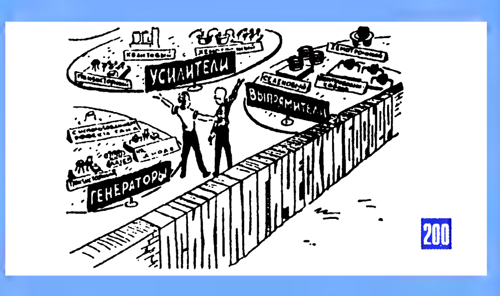

195
ПАМЯТЬ
ЦАП
ПАМЯТЬ
ЦАП


196
АЦП
ССС1
20Гц 6кГц
М1
АЦП
ССС2
20Гц 6кГц
М2
АЦП
ССС3
20Гц 6кГц
М3
20Гц 20кГц
Ф1
Д1
СВС1
ЦАП
Ф2
Д1
СВС2
ЦАП
Ф3
Д1
СВС3
ЦАП
20Гц 20кГц
СИСТЕМА СЖАТИЯ СПЕКТРА
МОДУЛЯТОРЫ
ФИЛЬТРЫ
ДЕТЕКТОРЫ
СИСТЕМА ВОССТАНОВ-ЛЕНИЯ СПЕКТРА
20Гц 20кГц


197
АЦП
КОМ
ПЬЮ
ТЕР
ПРИНТЕР


198
ТРАЕКТОРИЯ
БОРТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
НАЗЕМНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
ПОПРАВКИ
УСИЛЕНИЕ СИГНАЛА
КАРТИНКА
СИНХРОНИЗАЦИЯ
ЗВУК
СВЯЗЬ
БЛОК МЕДИЦИНЫ
ТЕМПЕРАТУРА
ПУЛЬС
ДЫХАНИЕ
ДАВЛЕНИЕ


199
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ БАРЬЕР


УСИЛИТЕЛИ
ВЫПРЯМИТЕЛИ
ГЕНЕРАТОРЫ
200

все детали приемника — в одной микросхеме; десятислойные планарные конструкции (Т-311;81); «детали» микросхемы размером до 0,2 микрона; десятки миллионов запоминающих ячеек в одном кристалле. В числе обсуждаемых планов: создание трехмерных микросхем с миллиардами элементов в объеме песчинки. И вполне вероятно, что через полсотни лет не только сама сегодняшняя электроника, но и ее ближайшие планы станут достоянием далекой истории. Как для нас далекой историей стали искровые передатчики, шипящие грампластинки и сверхминиатюрные ламповые приемники размером с большую обувную коробку.

Т-312. Путь в электронику для многих специалистов начинался с простейших самодельных конструкций и схем. Фантастическая электроника... Удивительное совершенство приборов и методов, удивительные возможности вычислять, измерять, управлять, действовать, перерабатывать информацию в недоступных для человека объектах и с недоступными для него скоростями. Удивительные планы и перспективы.

Так имеет ли смысл на фоне всего этого заниматься такими пустяками, как транзисторные приемники прямого усиления или звукоуправляемые игрушки? Стоит ли тратить время на вчерашний день электроники, на дискретные схемы, когда скоро любая аппаратура будет представлять собой всего лишь несколько микросхем, внутрь которых не влезешь ни для того, чтобы отремонтировать, ни для того, чтобы усовершенствовать электронный аппарат?

Ответ представляется очевидным: не просто полезно, но и необходимо заниматься началами электроники — типичными простыми схемами, способами обработки сигналов, основными законами электрических цепей, конструированием простейших «живых» электронных приборов. Прежде всего эти занятия очень интересны, именно они дают возможность познавать сложное на простых объектах, возможность самому искать, ошибаться, задумываться, находить решение, радоваться удаче. И именно эти занятия воспитывают в человеке многие полезные качества, о которых речь шла в самом начале (Т-1), — собранность, аккуратность, организованность, умение работать, уважение к труду. И еще — находчивость, изобретательность, умение логически мыслить, смелость.

Тем, для кого электроника просто хобби, просто увлечение, уже нескольких этих «за» достаточно, чтобы уважительно относиться к предоставленным в этой книге простым схемам и начальным сведениям об основах электротехники и электроники. Но и тот, кто хочет выбрать электронику своей основной профессией, не должен смотреть с пренебрежением на азбуку электронных схем. Потому что к вершинам знаний человек поднимается постепенно и последовательно, ступенька за ступенькой, шаг за шагом. И путь к электронным микроскопам и радиотелескопам, к микрокомпьютерам и космическим роботам, ко всей этой фантастической электронике обязательно приходят через основы наук, приходят через простые схемы и приборы, с которыми познакомила вас эта книга.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Заметки к разделу Т-311. :

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ И ФОРМУЛЫ НА РИСУНКАХ

Имеются в продаже

Гендин Г.С. Все о резисторах: Справочник.

Приведены сведения об основных электрических параметрах отечественных и зарубежных резисторов. Книга является практическим пособием, с помощью которого читатель сможет избежать многих широко распространённых ошибок, возникающих при использовании резисторов с неоптимальными, а иногда и вовсе неподходящими характеристиками.

Для широкого круга радиолюбителей и специалистов.

Садченков Д.А. Устройство и ремонт радиотелефонов Senao SN-258, Harvest HT-3, Sanyo: Справочник.

Приведены технические данные Senao SN-258, Harvest HT-3, Sanyo моделей CLT-55, CLT-65, LT-75, CLT-85. Описаны пользовательские и сервисные функции, даны рекомендации по поиску неисправностей, ремонту, настройке, программированию и регулировке, по способам увеличения дальности связи, мерам борьбы с пиратским доступом. Даны необходимые справочные сведения.

Для широкого круга радиолюбителей, а также специалистов по ремонту.

Си-Би – радиосвязь для всех/В. Щербаков, И. Сперанский, В. Зленко, Ю. Вичковский, И. Гончаров; Под ред. В.В. Щербакова.

Приведены сведения о радиосвязи личного пользования в гражданском (Си-Би) диапазоне – 27 МГц в мире и России. Приведены сведения о концепции радиофикации автомагистралей в рамках федеральной целевой программы "Повышение безопасности дорожного движения в России" и диспетчерских службах. Описаны правила и практика ведения радиосвязи, ее возможная дальность. Приведены сведения о приемопередающей аппаратуре, антеннах, измерительных приборах, источниках питания для базовых, автомобильных и портативных радиостанций. Даны практические советы по монтажу антенн и радиостанций, сведения по самостоятельному изготовлению антенн, измерительных и зарядных устройств. В приложениях приведены краткие описания популярных моделей Си-Би радиостанций и наиболее часто используемые справочные сведения.

Для широкого круга пользователей гражданской радиосвязи, радиолюбителей, работников, занимающихся эксплуатацией аппаратуры гражданской радиосвязи.

Соколов В.С. Кинескопы для телевизоров черно-белого и цветного изображения: Справочник.

Приведены справочные сведения о кинескопах для телевизоров черно-белого и цветного изображения, в частности светотехнических, эргономических, электрических и эксплуатационных параметрах. Даны рисунки общего вида, схемы соединения электродов, габаритные и присоединительные размеры. Рассмотрены типовые неисправности, а также особенности эксплуатации кинескопов с учетом обеспечения требований безопасности.Для подготовленных радиолюбителей, может быть полезна специалистам, занятым ремонтом телевизоров.

Турута Е.Ф. Интегральные микросхемы – усилители мощности низкой частоты: Справочник.

В справочнике собраны сведения о более чем 2600 микросхемах – усилителях мощности низкой частоты, выпускаемых ведущими фирами мира – ECG-Philips Matsushita, National Semiconductors, NTE, Philips, RCA, Sanyo, Siemens, SGS-Thomson, Telefunken, Toshiba и др. Для большинства из них даны как стандартные, так и нестандартные (мостовые) схемы включения. Микросхемы, имеющие одинаковую электрическую схему включения, сведены в одном месте, т.е. фактически являются аналогами. Наиболее важные параметры микросхем сведены в таблицу. На сегодняшнее время справочник является наиболее полным изданием такого рода. Для широкого круга радиолюбителей, может быть полезен специалистам, занимающимся ремонтом бытовой радиоаппаратуры.

Аксенов А. И., Нефедов А. В. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры: Конденсаторы. Резисторы. Справочник.

Приводятся сведения о классификации, условных обозначениях, основных параметрах и конструктивном исполнении конденсаторов и резисторов, выпускаемых отечественной промышленностью. Даются классификации и условные обозначения зарубежных конденсаторов и резисторов, а также зарубежные аналоги отечественных конденсаторов.

Предназначается радиолюбителям, а также специалистам, занимающимся конструированием, эксплуатацией и ремонтом бытовой радиоэлектронной радиоаппаратуры

Алексеев Ю. П. Бытовая радиоприемная и звуко-воспроизводящая аппаратура (модели 1989–1992 г.).

Приведены основные технические характеристики и краткое описание отечественных переносных радиоприемников и кассетных магнитол, электрофонов и электропроигрывателей, а также стереофонических усилителей. Даны принципиальные электрические и электромонтажные схемы.

Для подготовленных радиолюбителей.

Белов И. Ф., Зильберштейн А. М. Переносные радиоприемники и магнитолы: Справочник.

Даны основные технические характеристики и описание переносных радиоприемников и кассетных магнитол, выпущенных отечественной промышленностью в 1991–1993 гг. Приведены сведения, необходимые для их ремонта и настройки. Рассмотрены некоторые характерные неисправности и способы их устранения.

Для подготовленных радиолюбителей.

Быстров Ю. А. и др. Оптоэлектронные устройства в радиолюбительской практике: Справочное пособие.

Описаны принципы использования основных типов оптоэлектронных приборов-излучателей (в том числе индикаторов), фотоприемников и оптопар. Рассмотрены методы расчета, выбор элементной базы, предельные режимы работы, варианты конструктивного исполнения, методы постройки и особенности эксплуатации. Подробно проанализировано более 200 различных оптоэлектронных устройств.

Для подготовленных радиолюбителей.

Нефедов А. В. Элементы схем бытовой радио-аппаратуры: Микросхемы. Часть 2. Справочник.

Приводятся сведения о классификации, условных обозначениях, основных параметрах и габаритных размерах элементов схем бытовой радиоаппаратуры — аналоговых и цифровых микросхем отечественного производства и их зарубежных аналогов.

Предназначается радиолюбителям, а также широкому кругу специалистов, занимающихся конструированием, эксплуатацией и ремонтом радиоэлектронной аппаратуры.

Пескин А.Е., Войцеховский Д.В., Коннов А.А. Современные зарубежные цветные телевизоры: Видеопроцессоры и декодеры цветности. 2-е изд.

Подробно рассмотрены микросхемы, выполняющие роль видеопроцессоров и декодеров цветности в современных зарубежных цветных телевизорах. Приведены структурные схемы, поясняющие работу микросхем, а также принципиальные схемы, иллюстрирующие способы их включения в конкретных моделях зарубежных цветных телевизоров. Даны сведения, необходимые для успешного ремонта и регулировки телевизоров.

Для подготовленных радиолюбителей.

Штейерт Л.А. Входные и выходные параметры бытовой радиоэлектронной аппаратуры. 2-е изд.

Содержатся краткие сведения о всех видах бытовой радиоэлектронной аппаратуры, выпускаемой в настоящее время в нашей стране и за рубежом. Рассматриваются возможные варианты стыковки компонентов звуковых систем с усилителями звуковой частоты. Приводятся информационные материалы согласования видеозвуковых источников, персональных ЭВМ, устройств телеигр с телевизионными приемниками. Обобщаются краткие характеристики входных и выходных параметров, а также конструктивные данные о применяемых типах соединителей с распайкой контактов. Первое издание вышло в 1992 г.

Для широкого круга радиолюбителей.

Щедрин А., Осипов И. Металлоискатели для поиска кладов и реликвий.

Изложены теоретические основы электронных металлоискателей, используемых для поиска кладов и реликвий. Сформированы важные для практических целей выводы и ценные советы. Рассмотрены практические вопросы, связанные с различными видами поисковых работ. Приведено описание оригинальных конструкций металлоискателей различной сложности, пригодных для повторения в любительских условиях.

Для широкого круга читателей

Сидоров И.Н., Скорняков С.В. Трасформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. 2-е издание дополн.

Приведены электромагнитные параметры и конструктивные размеры малогабаритных силовых трансформаторов электропитания бытовой РЭА, трансформаторов, работающих в импульсном режиме, трансформаторов строчной и кадровой разверток телевизоров, трансформаторов согласования, выходных трансформаторов звуковой частоты радиоприемной и звуковоспроизводящей аппаратуры. Рассмотрены вопросы эксплуатации трансформаторов в условиях внешних воздействующих факторов. Даны сведения, необходимые для их ремонта. Описаны применяемые электромагнитные материалы.

Для широкого круга радиолюбителей.

Новопольский В.А. Работа с электронно-лучевым осциллографом. Практический курс.

Рассмотрены принцип действия, устройство и методика работы с электронно-лучевым осциллографом. Приведены методики измерения временных интервалов и оптимизации характеристик сигналов. Отмечены особенности применения осциллографов при исследовании транзисторных устройств различного назначения.

Для широкого круга радиолюбителей и специалистов, занимающихся настройкой и ремонтом радиоэлектронной аппаратуры.

Кузин В.М., Кузин А.В. Ремонт комбинированных приборов: Справочник.

Рассмотрены принцип действия, устройство, характеристики и основные правила применения комбинированных приборов. Приведены принципиальные электрические схемы, схемы расположения элементов, карты электрических цепей и другие сведения об отечественных и наиболее распространённых зарубежных комбинированных приборах. Даны практические рекомендации по отысканию и устранению неисправностей. Предложены для повторения радиолюбителями, разработанные авторами и реализованные ими на практике, схемы оригинальных измерительных приборов.

Для подготовленных радиолюбителей.

Гендин Г.С. Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты.

Книга предстовляет собой попытку возродить интерес радиолюбителей к ламповым усилителям звуковой частоты на новом качественном уровне. Сегодня на Западе и особенно в США интерес к таким УЗЧ необычайно возрос, о чем свидетельствуют результаты новейших разработок в этой области. В книге содержаться практические описания нескольких конструкций ламповых УЗЧ различной степени сложности, приведены советы как схемного, так и конструктивного характера.

Для подготовленных радиолюбителей.

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА



Гендин Г.С. Все о резисторах: Справочник.
Приведены сведения об основных электрических параметрах отечественных и зарубежных резисторов Книга является практическим пособием с помощью которого читатель сможет избежать многих широко распространенных ошибок, возникающих при использовании резисторов с неоптимальными, а иногда и вовсе неподходящими характеристиками.

Садченков Д.А. Устройство и ремонт радиотелефонов Senao SN-258, Harvest HT-3, Sanyo: Справочник.
Приведены технические данные Senao SN-258, Harvest HT-3, Sanyo моделей CLT-55, CLT-65, LT-75, CLT-85. Описаны пользовательские и сервисные функции, даны рекомендации по поиску неисправностей, ремонту, настройке, программированию и регулировке, по способам увеличения дальности связи, мерам борьбы с пиратским доступом. Даны необходимые справочные сведения.

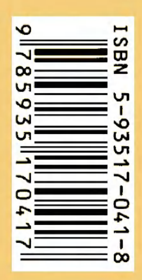


Си-Би: радиосвязь для всех / В. Щербаков, И. Сперанский, В. Зленко, Ю. Вичковский, И. Гончаров; Под ред. В.В. Щербакова.
Приведены сведения о радиосвязи личного пользования в гражданском (Си-Би) диапазоне 27 МГц в мире и России. Приведены сведения о концепции радиофикации автомагистралей в рамках федеральной целевой программы "Повышение безопасности дорожного движения в России" и диспетчерских службах. Описаны правила и практика ведения радиосвязи, ее возможная дальность. Приведены сведения о приемопередающей аппаратуре, антеннах, измерительных приборах, источниках питания для базовых, автомобнльных и портативных радиостанций. Даны практические советы по монтажу антенн и радиостанций, сведения по самостоятельному изготовлению антенн, измерительных и зарядных устройств. В приложениях приведены краткие описания популярных моделей Си-Би радиостанций и наиболее часто используемые справочные сведения.

Турута Е.Ф. Интегральные микросхемы усилители мощности низкой частоты: Справочник.
В справочнике собраны сведения о более чем 2600 микросхемах усилителях мощности низкой частоты, выпускаемых ведущими фирмами мира ECG-Philips Matsushita. National Semiconductors NTE. Philips, RCA, Sanyo, Siemens, SGS-Thomson, Telefunken, Toshiba и др. Для большинства из них даны как стандартные, так и нестандартные (мостовые) схемы включения. Микросхемы, имеющие одинаковую электрическую схему включения, сведены в одном месте, т.е. фактически являются аналогами. Наиболее важные параметры микросхем сведены в таблицу. На сегодняшнее время справочник является наиболее полным изданием такого рода.



Соколов В.С. Кинескопы для телевизоров черно-белого и цветного изображения: Справочник.
Приведены справочные сведения о кинескопах для телевизоров черно-белого и цветного изображения, в частности светотехнических, эргономических, электрических и эксплуатационных параметрах. Даны рисунки общего вида, схемы соединения электродов, габаритные и присоединительные размеры. Рассмотрены типовые неисправности, а также особенности эксплуатации кинескопов с учетом обеспечения требований безопасности.


ISBN 5-93517-041-8





